مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية
المنظمة العربية للترجمة

راي تريكر

الإلكترونيات البصرية وتكنولوجيا الألياف البصرية



ترجمة
إنعام عجاج

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدّمة

الإلكترونيات البصرية

وتكنولوجيا الألياف البصرية

المنظمة العربية للترجمة

راي تريكر

الإلكترونيات البصرية
وتكنولوجيا الألياف البصرية

ترجمة

إنعام عجاج

مراجعة

د. محمد عبد الستار الشيخلي

توزيع: **مركز دراسات الوحدة العربية**

الفهرسة أثناء النشر ـ إعداد المنظمة العربية للترجمة
تريكر، راي
الإلكترونيات البصرية وتكنولوجيا الألياف البصرية/ راي تريكر؛ ترجمة إنعام عجاج؛ مراجعة محمد عبد الستار الشيخلي.
495 ص. ـ (تقنيات استراتيجية ومتقدمة ـ الإلكترونيات والاتصالات والضوئيات؛ 1)
يشتمل على فهرس.
ISBN 978-9953-0-1997-0
1. الألياف البصرية. 2. الإلكترونيات ـ خدمات المعلومات. أ. العنوان. ب. عجاج، إنعام (مترجمة). ج. الشيخلي، محمد عبد الستار (مراجع). د. السلسلة.
621.381045

Tricker, Ray
Optoelectronics and Fiber Optic Technology



المنظمة العربية للترجمة
بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 5996 ـ 113
الحمراء ـ بيروت 2090 1103 ـ لبنان
هاتف: 753031 ـ 753024 (9611) / فاكس: 753032 (9611)
e-mail: info@aot.org.lb - http://www.aot.org.lb

توزيع: **مركز دراسات الوحدة العربية**
بناية «بيت النهضة»، شارع البصرة، ص. ب: 6001 ـ 113
الحمراء ـ بيروت 2407 2034 ـ لبنان
تلفون: 750084 ـ 750085 ـ 750086 (9611)
برقياً: «مرعربي» ـ بيروت / فاكس: 750088 (9611)
e-mail: info@caus.org.lb - Web Site: http://www.caus.org.lb

الطبعة الأولى: بيروت، شباط (فبراير) 2011

المحتويات

الفصل السادس: الموصّلات والمُقْرِنات

تقديم

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة

ضمن مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي

يطيب لي أن أقدم لهذه السلسلة التي جرى انتقاؤها في مجالات تقنية ذات أولوية للقارئ العربي في عصر أصبحت فيه المعرفة محركاً أساسياً للنمو الاقتصادي والتقني. ويأتي نشر هذه السلسلة بالتعاون بين مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية والمنظمة العربية للترجمة ويقع في إطار تلبية عدد من السياسات والتوصيات التي تعنى باللغة العربية والعلوم ومنها:

أولاً: البيان الختامي لمؤتمر القمة العربي المنعقد في الرياض 1428هـ - 2007 م الذي يؤكد على ضرورة الاهتمام باللغة العربية، وأن تكون هي لغة البحث العلمي والمعاملات حيث نص على ما يأتي: (وجوب حضور اللغة العربية في جميع الميادين بما في ذلك وسائل الاتصال، والإعلام، والإنترنت وغيرها).

ثانياً: «السياسة الوطنية للعلوم والتقنية» في المملكة العربية السعودية التي انبثق عنها اعتماد إحدى عشرة تقنية استراتيجية هي: المياه، والنفط، والغاز، والبتروكيميائيات، والتقنيات المتناهية الصغر

(النانو)، والتقنية الحيوية، وتقنية المعلومات، والإلكترونيات، والاتصالات، والضوئيات، والفضاء والطيران، والطاقة، والمواد المتقدمة، والبيئة.

ثالثاً: مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي التي تفعل أيضاً ما جاء في «أولاً» عن حضور اللغة العربية في الإنترنت حيث تهدف إلى إثراء المحتوى العربي عبر عدد من المشاريع التي تنفذها مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية بالتعاون مع جهات مختلفة داخل المملكة وخارجها. ومن هذه المشاريع ما يتعلق برقمنة المحتوى العربي القائم على شكل ورقي وإتاحته على شبكة الإنترنت، ومنها ما يتعلق بترجمة الكتب المهمة، وبخاصة العلمية، ما يساعد على إثراء المحتوى العلمي بالترجمة من اللغات الأخرى إلى اللغة العربية بهدف تزويد القارئ العربي بعلم نافع مفيد.

تشتمل السلسلة على ثلاثة كتب في كل من التقنيات التي حددتها «السياسة الوطنية للعلوم والتقنية». واختيرت الكتب بحيث يكون الأول مرجعاً عالمياً معروفاً في تلك التقنية، ويكون الثاني كتاباً جامعياً، والثالث كتاباً عاماً موجهاً إلى عامة المهتمين، وقد يغطي كتاب واحد أو أكثر ذلك مجتمعاً. وعليه، تشتمل سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة على ما مجموعه ثلاثة وثلاثين كتاباً مترجماً، كما خصص كتاب إضافي منفرد للمصطلحات العلمية والتقنية المعتمدة في هذه السلسلة كمعجم للمصطلح.

وقد جرى انتقاء الكتب وفق معايير منها أن يكون الكتاب من أمهات الكتب في تلك التقنية، ولمؤلفين يشهد لهم عالمياً، وأنه قد صدر بعد عام 2000، وأن لا يكون ضيق الاختصاص بحيث يخاطب فئة محدودة، وأن تكون النسخة التي يترجم عنها مكتوبة باللغة التي أُلّف بها الكتاب وليست مترجمة عن لغة أخرى، وأخيراً أن يكون

موضوع الكتاب ونهجه عملياً تطبيقياً يصب في جهود نقل التقنية والابتكار ويساهم في عملية التنمية الاقتصادية من خلال زيادة المحتوى المعرفي العربي.

إن مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية سعيدة بصدور هذه المجموعة من الكتب، وأود أن أشكر المنظمة العربية للترجمة على الجهود التي بذلتها لتحقيق الجودة العالية في الترجمة والمراجعة والتحرير والإخراج، وعلى حسن انتقائها للمترجمين المتخصصين، وعلى سرعة الإنجاز، كما أشكر اللجنة العلمية للمجموعة التي أنيط بها الإشراف على إنجازها في المنظمة، وكذلك زملائي في مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية الذين يتابعون تنفيذ مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي.

الرياض 20/ 3/ 1431 هـ
رئيس مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية
د. محمد بن إبراهيم السويل

مقدمة

أصبحت الألياف البصرية خلال العقدين الأخيرين أكثر شيوعاً في القطاعين التجاري والعسكري. وعلى الرغم من أن الإلكترونيات البصرية مبنية على تكنولوجيا بسيطة إلى حد ما، إلا أنه من المهم بالنسبة إلى مهندسي اليوم أن يعرفوا أساسيات وقدرات هذه التكنولوجيا.

ومن الضروري من أجل فهم المبادئ الجديدة للهندسة الإلكترونية أن يكون لدى القارئ أسس عملية، وأن يشتق المؤلف ويفسر النظريات الرياضية، وأن يطور صيغاً رياضية جديدة بشكل تدريجي... إلخ ليسمح للقارئ أن يكمل دراساته من خلال الفهم الكامل للمبادئ المحيطة بهذه التكنولوجيا الجديدة.

وعلى الرغم من أن فهم المبادئ الرياضية المطبقة في الإلكترونيات البصرية أمر ضروري، إلا أن الهدف الأساسي من هذا الكتاب هو توفير مقدمة عن أسس الإلكترونيات البصرية. وهو كتاب يطرح موضوعاً، ويترك للقارئ المجال للبحث عن تفسيرات أعمق. إنه كتاب سهل القراءة من الصعب تركه (مع الأخذ بالاعتبار القول الشهير إن الصورة تعادل ألف كلمة)، ويتضمن الكثير من الصور والرسوم البيانية لتساعد على الفهم.

ولن يكون هذا الكتاب مرجعاً لمهندسي الإلكترونيات والاتصالات السلكية واللاسلكية، والتقنيين والطلاب فقط، بل سيشكل أيضاً نظرة شاملة عن هذه التكنولوجيا، التي تشيع بتزايد مستمر، خصوصاً بالنسبة إلى الذين يرغبون في الاطلاع على مجال تكنولوجيا الاتصالات.

تمهيد

على مدى قرن من الزمان، كان ربط أنظمة التلغراف وأنظمة الهاتف يتم بواسطة أسلاك نحاسية ومن خلال حلقات الاتصال اللاسلكي. وقد شكلت هذه أسس شبكات الاتصال السلكية واللاسلكية في المدن والضواحي. وعلى الرغم من أنه أُجريت دراسة في أواخر القرن التاسع عشر عن إمكانية استعمال قضيب عازل كهربائي كدليل موجي. وقد قُدّم بحث بشأن ذلك في العشرينيات من القرن العشرين، إلا أنه في عام 1966 سجّل كل من تشارلز كاو (Charles Kao) وجورج هوكهام (George Hockham) براءة اختراعهما عن «مبدأ إرسال المعلومات عبر وسيط شفاف عازل كهربائي» (أي ليف زجاجي)، حيث أصبح استخدام الألياف الزجاجية في حينه مقترحاً قابلاً للتطوير.

منذ ذلك الحين، ازداد تطور الألياف البصرية وقدرة سعتها الموجية الهائلة باستخدامها في كثير من أنظمة الاتصالات لنقل المعلومات عبر مسافات بعيدة وبكلفة قليلة جداً - بالمقارنة بكمية الخسارة في الإشارة الكهربائية عند استخدام الأسلاك النحاسية. وقد أصبحت هذه التكنولوجيا، من دون شك، بعد تطوير الصمامات الثنائية الليزرية، هي التكنولوجيا المفضلة للاستخدام في الاتصالات.

على أي حال، في المراحل الأولى لم يكن هناك دليل عن حصول انتشار واسع كهذا لتكنولوجيا الألياف البصرية والإلكترونيات البصرية، أو إلى أي حد ستؤثر في الاقتصاد الوطني والعالمي. وبالفعل فإن ليفاً بصرياً بسماكة شعرة الإنسان يستطيع أن ينقل ما يعادل 300 مليون اتصال هاتفي في آن واحد، أي تقريباً كل الاتصالات التي تجري في أميركا في الوقت نفسه. ومن المتوقع أن تزداد سعة الحاسوب بحوالى 1000 مرة في العقد القادم (وحوالى المليون مرة في العقد الذي يتبعه). كما إنه من غير المرجح أن لا تستطيع الأنظمة الإلكترونية البصرية تلبية المتطلبات الجديدة اللازمة. إذ إن الألياف البصرية أحدثت في أقل من عشرين سنة ثورة في الشبكة العالمية للاتصالات السلكية واللاسلكية.

ومن أجل توفير معلومات كافية عن هذه التكنولوجيا المتزايدة، فإن الكتاب مبني على الشكل الآتي:

الفصل الأول، يتحدث عن تاريخ الألياف البصرية، كما إنه يعرّف عن بعض الذين ساعدوا في تطوير واستعمال هذا الاكتشاف.

الفصل الثاني، لمحة شاملة عن النظرية التي هي خلف الإلكترونيات البصرية.

الفصل الثالث، يتحدث عن الأنواع المختلفة المتوافرة من الألياف البصرية (مثل، الليف مفرد النمط، الليف متعدد الأنماط، والليف ذي المعامل الانكساري أو ذي المعامل المتدرج، والليف الزجاجي أو البلاستيكي)، كما يتحدث هذا الفصل عن عمليات وتقنيات التصنيع، وميزات السلك ومواصفاته، كما إنه يلقي نظرة على بعض احتمالات التركيب.

الفصل الرابع، يتحدث عن أجهزة الإرسال الإلكترونية البصرية (مثل، الصمام الثنائي البصري والليزر) التي تستعمل لتحويل الإشارات الكهربائية إلى إشارات بصرية يتم بثها عبر الدليل الموجي البصري.

الفصل الخامس، يلقي نظرة على الطرف المستقبِل للإشارة، ويشرح كيف يتم استقبال الطاقة الضوئية، وكيف تُحول من جديد إلى إشارة كهربائية في جهاز الاستقبال الإلكتروني البصري.

الفصل السادس، يلقي الضوء على الطرق المستخدمة في ربط الألياف بجهاز المرسل المستقبل، وكيف يتم وصل ليفين ببعضهما بعضاً.

الفصل السابع، لمحة عن كيفية استعمال الألياف البصرية في الشبكات بعيدة المدى والشبكات العالمية للاتصالات السلكية واللاسلكية. كما يتحدث عن كيفية تصميم أنظمة أسلاك الألياف البصرية وتقنيات التركيب المستخدمة.

الفصل الثامن، يلقي نظرة على تقنيات التركيب وتقنيات الفحص في أثناء الخدمة، كما يتحدث عن بعض معدات الفحص المتوافرة حالاً لعمال التركيب ومهندسي المنظومات.

الفصل التاسع، يتحدث عن الإمكانيات المستقبلية المرافقة للإلكترونيات البصرية وتكنولوجيا الألياف البصرية. كما يتناول الفصل التطويرات الجديدة والمتوقعة، ويتحدث عن إقبال الحكومات والمؤسسات العسكرية والقطاع الصناعي المتزايد على استعمال الألياف البصرية.

يتبع هذه الفصول ملاحق عن بعض المعايير الأوروبية والعالمية المتوافرة حالياً. كما وسيجد القارئ جدولاً يشرح الكلمات المختصرة المصاحبة للإلكترونيات البصرية وتكنولوجيا الألياف البصرية، بالإضافة إلى مسرد بالمصطلحات المستخدمة في هذا الكتاب.

الاختصارات

ACOST:	UK Advisory Council on Science and Technology	المجلس الاستشاري للعلوم والتكنولوجيا في المملكة المتحدة
ACR:	Attenuation to Crosstalk Ratio	نسبة التوهين إلى التشويش الصوتي
Al:	Aluminum	الألمنيوم
AM:	Amplitude Modulation	تضمين سعة الموجة
APD:	Avalanche Photodiode	صمام ثنائي ضوئي تيهوري
APF:	All Plastic Fiber	ليف مكون من البلاستيك بشكل كامل
As:	Arsenide	الزرنيخ
ATM:	Asynchronous Transfer Mode	نمط البث غير المتزامن
BBC:	British Broadcasting Company	المؤسسة البريطانية للإرسال
BER:	Bit Error Rate	معدل خطأ البت
Bit	Binary Digit	رقم ثنائي
CAD	Computer Aided Design	التصميم من خلال الكومبيوتر
CATV	Community Antenna Television	خدمة المحطات الفضائية (تلفزيون الكابل).

CPU	Central Processor Unit	وحدة المعالجة المركزية
CSMA	Carrier Sense Multiple Access	تحسس الناقل متعدد الدخول
CSMA/ CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection	تحسس الناقل متعدد الدخول مع كاشف للتصادم
CSP	Channeled Substrate Planer (Laser)	مستوي ركيزي قنوي (الليزر)
DARPA	US Defense Advanced Research Project Agency	الوكالة الأميركية للبحوث المتقدمة في شؤون الدفاع
dB	Decibel	الدسيبل
dB(mu)	Optical Power Referenced to 1 Microwatt	الطاقة البصرية وتقاس نسبة إلى الـ 1 ميكرواط
dB/km	Decibels per Kilometre	دسيبل في الكيلومتر الواحد
dBm	Optical Power Referenced to 1 Milliwatt	القدرة البصرية وتقاس نسبة إلى الـ 1 ميليواط
dBr	Decibels Relative to a known power level	الدسيبل بالنسبة إلى مستوى معين من القدرة
DC	Direct Current	التيار المباشر
DFB	Distributed FeedBAck	التغذية الارتجاعية الموزعة
DOT	Department of Transport	وزارة النقل
DSP	Digital Signal Processing	معالجة الإشارة الرقمية
DSF	Dispersion Shifted Fiber	ليف بصري مزاح بالتشت
DTI	Department of Trade & Industry	وزارة الصناعة والتجارة
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	المضاعفة المكثفة بتقسيم طول الموجة
EDFA	Erbium-Doped Fiber Amplifier	مضخم ليفي منشط بالإيربيوم

EDTFA	Erbium-Doped Tellurite Fiber Amplifier	مضخم ليفي مصنوع من التيلوريت المنشط بالإيربيوم
EFTA	European Free Trade Association	الاتحاد الأوروبي للتجارة الحرة
EIA	Environmental Impact Assessment	تقييم التأثيرات البيئية
EIA	Electronic Industries Association	أتحاد الصناعات الإلكترونية
ELED	Edge Light Emitting Diode	الصمام الثنائي الباعث للضوء من الحافة
ELFEXT	Equal Level Far End Cross Talk	مكالمات متداخلة بعيدة بمستوى متوازن
EMC	Electromagnetic Compatibility	الانسجام الكهرومغنطيسي
EMD	Equilibrium Mode Distribution	نظام التوزيع المتوازن
EMI	Electromagnetic Interference	التداخل الكهرومغنطيسي
EU	European Union	الاتحاد الاوروبي
FDDI	Fiber Distributed Data Interface	واجهة بينية لبيانات موزعة بالألياف
FDM	Frequency Division Multiplex(ing)	مضاعفة تقسيم التردد
FEXT	Far End Cross Talk	مكالمات متداخلة بعيدة
FIA	Fiber Industry Association	اتحاد صناعة الألياف
FITL	Fiber In The Loop	ألياف بصرية بين المركز والمستهلك
FLOD	Full Length Outside Deposition	الترسيب الخارجي الكامل
FM	Frequency Modulation	تضمين التردد
FO	Fiber Optics	الألياف البصرية
FOA	Fiber Optic Amplifier	مضخم ليف بصري
FOTP	Fiber Optic Test Procedure	طريقة فحص الليف البصري

FOTS	Fiber Optic Transmission System	منظومة الإرسال عبر الألياف البصرية
FPLD	Fabry - Perot Laser Diode	صمام ثنائي ليزري نوع فابري - بِروت
FTTB	Fiber To The Building	الليف إلى المبنى
FTTC	Fiber To The Curb	الليف إلى المحلة
FTTH	Fiber To The Home	الليف إلى البيت
FWHM	Full Width Half Maximum	نصف أقصى الاتساع الكامل للعَرض
FXC	Fiber Switch Cross Connect	محول ليف متعدد القنوات
Ga	Gallium	الغاليوم
Gbit	Gigabit	جيغابت
GI	Graded Index	معامل متدرج
GIPFOC	Graded Index Plastic Fiber Optic Cable	سلك الليف البصري البلاستيكي متدرج المعامل
GOF	Glass Optical Fiber	الليف البصري الزجاجي
IDF	Intermediate Distribution Frame	إطار توزيع وسيط
IDP	Integrated Detector/ Amplifier	كاشف/ مضخم متكامل
ILD	Index Guided Laser Diode	صمام ثنائي ليزري موجه بالمعامل
ILD	Injection Laser Diode	صمام ليزري حاقن
In	Indium	الأنديوم
IR	Infrared	الأشعة تحت الحمراء
ISDN	Integrated Services Digital Network	شبكة رقمية للخدمات المتكاملة
ISO	International Standards Organization	المنظمة العالمية للمقاييس
kg	Kilogram	الكيلوغرام

km	Kilometre	الكيلومتر
km/s	Kilometre per Second	كلم في الثانية الواحدة
LAN	Local Area Network	شبكة محلية
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission/ Radiation.	تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث/ الإشعاع المحفز
lb	Pound (weight, UK)	رطل/ باوند (وحدة وزن تستخدم في المملكة المتحدة)
LD	Laser Diode	صمام ثنائي ليزري
LED	Light Emitting Diode	صمام ثنائي باعث للضوء
LLDPE	Linear Low Density PolyEthylene Jacketing	غلاف خطي من الأثيلين المتعدد المنخفض الكثافة
LLIDS	Local Light Injection and Detection System	منظومة حقن وكشف الضوء المحلي
LPE	Liquid Phase Epitaxy	طبقات تقيلية مرسبة على بلورات
LSFH	Low Smoke Halogen Free	نسبة دخان منخفضة خالية من الهالوجين
m	Metre	المتر
mA	MilliAmpere	ملي أمبير
MAN	Metropolitan Area Network	شبكة مدينية
MBE	Molecular Beam Epitaxy	ترسب حزمة جزيئية في بلورات
MBPS	(See Fiber Distributed Data Interface Network in the Glossary)	(انظر الشبكة البينية للبيانات الموزعة بالألياف البصرية)
MCRW	Metal-Clad Ridge Waveguide (Laser)	دليل موجي مقوى بغطاء معدني (ليزر)
MDF	Main Distributed Frame	إطار التوزيع الرئيس
MEMS	Micro ElectroMechanical Systems	أنظمة كهروميكانيكية ميكروية

MHz	Megahertz	ميغاهرتز
mm	Millimeter	ملم
MMF	Multimode Fiber Optic Cable	سلك ليف بصري متعدد الأنماط
MOCVD	Metal Organic Chemical Vapour Deposition	ترسيب كيميائي لبخار معدني عضوي
Modem	Modulator/Demodulator	مضمن/ مزيل للتضمين
MOVPE	Metal Organic Vapour Phase Epitaxy	مرحلة نمو تقيلي بالبخار العضوي المعدني
MRI	Magnetic Resonance Imaging	التصوير بالرنين المغنطيسي
mW	MilliWat	ملي واط
NA	Numerical Aperture	الفتحة العددية
NEXT	Near End Cross Talk	تشويش قريب
NIR	Near Infrared	المنطقة القريبة من حزمة الأشعة تحت الحمراء
NIU	Network Interface Unit	وحدة السطح البيني للشبكة
NLO	Non-Linear Optics	بصريات غير خطية
nm	Nanometre	نانومتر
NTSC	National Television System Committee	لجنة نظام التلفزيون الوطني
OSI	Open Standards Interconnect	الربط البيني مفتوح المعايير
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer	مقياس بصري لانعكاسية المجال الزمني
P	Phosphorous	فوسفور، فوسفوري
PAL	Phase Alternation Line (European TV Format)	خط تناوب الصور (نظام التلفزيون الأوروبي)
PCB	Printed Circuit Board	لوحة الدارة المطبوعة

PCM	Pulse Code Modulation	التضمين بشفرة نبضية
PCS	Plastic Clad Silica	زجاج بتصفيح بلاستيكي
PD	Potential Difference	فرق الجهد
PD	Photodiode	الصمام الثنائي الضوئي
PDFFA	Praseodymium-Doped Fluoride Fiber Amplifier	مضخم ليفي من الفلوريد المنشط بالبراسوديميوم
PE	Polyethylene. This is a type of plastic material used to make cable jacketing	الأثيلين المتعدد، وهو نوع من مادة البلاستيك الذي يستخدم لصنع أغلفة الأسلاك
PET	Positron Emission Tomography	التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني
PF	Perfluorinated	الفلوريد العضوي
PIN	Positive Intrinsic Negative Photodiode	الصمام الثنائي الضوئي ثلاثي الوصلة
PIN-FET	PIN-Field Effect Transistor	ترانزيستر للتحكم بالتوصيل ذو وصلة ثلاثية
PIN-PD	PIN-Photodiode	الصمام الضوئي ثلاثي الوصلة
PMMA	Polymethylmethacrylate	بولي ميثيل ميثا أكريلات
POF	Plastic Optical Fiber	ليف بصري بلاستيكي
POFA	Plastic Optical Fiber Amplifier	المضخم الليفي البصري البلاستيكي
PSTN	Public Switched Telephone Networks	شبكة أرضية للهواتف العامة
PTFE	Polytetrafluoroethylene (Teflon)	رابع كلوريد الاثيلين (تفلون)
PTT	Postal Telegraph and Telephone	التلغراف البرقي والهاتف
PUR	Polyurethane	اليوريثان المتعدد أو البوليوريثان

PVC	Polyvinyl Chloride	كلوريد الفينايل المتعدد
R&D	Research and Development	البحث والتطوير
RF	Radio Frequency	تردد راديوي
RI	Reflective Index	معامل عاكس
Rx	Receiver	مستقبل
SC	A connector type, primarily used with single-mode fiber optic cables	وهو نوع من أنواع الموصلات، ويستعمل بشكل أساسي مع كبلات الألياف مفردة النمط
ScTP	Screened Twisted Pair	السلك الزوجي الملتوي المعزول
SDM	Space Domain Multiplexing	مضاعفة المجال المكاني
Si	Silicon	السليكون
SIPFOC	Step Index Plastic Fiber Optic Cable	سلك الليف البصري البلاستيكي بمعامل انكسار تدرّجي
SLB	System Loss Budget	موازنة فقد النظام
SMA	Sub Multiple Assembly	التجميع الثانوي المتعدد
SMA	A connector type that was the predecessor of the ST connector	وهو نوع من أنواع الموصلات تم تطويره قبل موصلات الـ ST
SNR, S/N	Signal to Noise Ratio, Usually expressed in dB	نسبة الإشارة إلى الضوضاء، ويعبر عنها عادة بالدسيبل
SOA	Semiconductor Optical Amplifier	المضخم البصري شبه الموصل
SONET	Synchronous Optical Network	الشبكة البصرية المتزامنة
ST	A keyed bayonet connector type similar to a BNC connector	موصّل بايونت بقفل، شبيه بموصّل بايونت نيل – كونسلمان (BNC Connector)
STL	Standard Telecommunication Laboratories	المختبرات القياسية للاتصالات السلكية واللاسلكية

TDM	Time Division Multiplexing	مضاعفة بتقسيم الزمن
TIA	Trans, Impedence Amplifier	مُضخّم عبر المعاوقة
TIR	Total Internal Reflection	الانعكاس الداخلي الكلي
Tx	Transmitter	المرسل
UK	United Kingdom	المملكة المتحدة
US	United States	الولايات المتحدة
UTP	Unshielded Twisted Pair	سلك زوجي ملتوي غير مدرع
UV	Ultraviolet	الأشعة فوق البنفسجية
VCSEL	Vertical Cavity Surface Emitting Laser	ليزر منبعث من سطح الفجوة العمودية
VCSL	Vertical Cavity Semiconductor Laser	ليزر السطح العمودي شبه الموصل
VLON	Virtually Lossless Network	الشبكة الخالية من الفقد
VLSI	Very Large Scale Integration	التكامل العالي الدرجة
W	Watt	واط
WAN	Wide Area Network	شبكة المساحة الواسعة
WDM	Wavelength Division Multiplexing	مضاعفة بتقسيم طول الموجة
WIC	Wavelength Independent Coupler	مقرن مستقل عن طول الموجة

إقرار

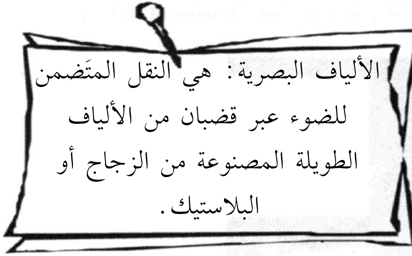
مع إن كافة الجهود قد بذلت للاتصال بكافة مالكي حقوق الطبع، وأصحاب الصور الفوتوغرافية، والأشكال التخطيطية، والرسوم التوضيحية، إلا أن الأمر لم يكن ممكناً لأسباب عديدة. فإذا استخدمنا في هذا الكتاب صوراً تعود إليك من دون أخذ الإذن منك، فإننا نعتذر إليك، ونتمنى أن تتصل بنا لتأمين حصولك على ما تستحقه من عرفان في الطبعة اللاحقة.

الفصل الأول

تاريخ الألياف البصرية

يتناول الفصل الأول تاريخ الألياف البصرية (Fiber Optics) ويلقي الضوء على بعض الأشخاص الذين ساهموا في تطوير هذه التقنية.





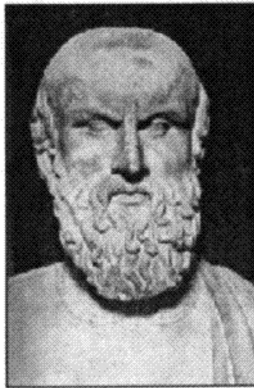
1-1 خلفية تاريخية

كانت أجهزة الهاتف والتلغراف لأكثر من قرن تُربط بواسطة الأسلاك النحاسية وحلقات الاتصال الراديوية التي شكّلت أساس شبكات الاتصال اللاسلكية والسلكية العالمية في الضواحي والمدن.

ومع أن تقنية البث اللاسكية قد تحسنت على مدى السنين الماضية، فإن الطريقة والتقنية، وكلفة أنظمة الاتصال تغيرت، وعلى نحو كبير بفضل الاختراعات الثورية التي حصلت في العقود الأخيرة، وبفضل تطوير تقنية أشباه الموصلات (Semiconductors)، والتقنية الرقمية (Digitalization)، والإلكترونيات البصرية.

وبالطبع، فإن إرسال المعلومات بواسطة الوسائل البصرية ليس مبدأً جديداً كلياً، فقد أرسل الإنسان رسائل بصرية منذ قرون عديدة. وأعتقد أن أول شكل من أشكال الاتصال البصري تمثل في تلويح إنسان الكهوف قبضته (وهو تصرف لا يدع شكاً في معناه). إن هذا التواصل الفاعل استعمل الشمس باعتبارها مصدراً للضوء، واليد باعتبارها مضمناً (Modulator)، والعين باعتبارها جهاز استكشاف (Detector). وقد تطور التواصل البصري إلى استخدام الرايات والإشارات الدخانية، ما جعل من الممكن إرسال الرسائل عبر مسافات أكبر.

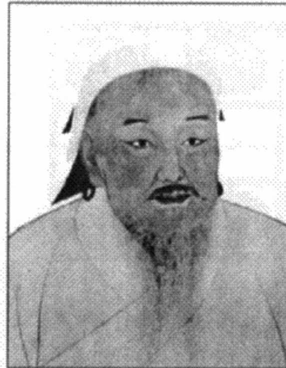
وأما من منظور عسكري، فقد استعملت كل تقنيات الإشارة من قبل الجيوش في الميدان، فقد كان الإغريق يستخدمون تلغراف المشعل، وكان الفينيقيون يستخدمون تلغراف الماء. كما استخدم الجيش الروماني الدخان الملون وسيلة للاتصال. واستخدم الإغريق والفينيقيون انعكاس الضوء من المرايا كشيفرات للاتصال بين أبراج المراقبة. وكان ربابنة السفن يستخدمون المرايا والمصابيح للاتصال بأساطيلهم. وأما جنرالات الجيش فقد كانوا يستخدمون الدروع لتحديد تحركات الجنود.



الشكل 1-1 أسخيليوس (525 - 456 ق. م)

في القرن السادس قبل الميلاد، حسبما تقول الأسطورة، استخدم أسخيليوس (Aeschylus) (الشكل 1-1)، (الملقب بأبي التراجيديا الذي لقي حتفه بعد أن ألقى نسرٌ سلحفاةً على رأسه الأصلع ظناً منه أنه صخرة)، سلسلة طويلة من المشاعل لإيصال أخبار سقوط طروادة من آسيا الصغرى إلى أرغوس.

في القرن الثاني قبل الميلاد، طوّر بوليبيوس (Polybius) - وهو مؤرخ أفريقي مولود في ميغالوبوليس (Megalopolis) - شيفرة من خانتين (Digits) على خمسة مستويات، يمكن نقل كل أحرف الأبجدية الإغريقية من خلالها. وربما يبدو مثيراً للاهتمام أن نشير إلى أن هذه هي الطريقة المعترف بها بشكل عام أنها أول نموذج للإرسال الإلكتروبصري. وعندما كان الصينيون يشعرون بالتهديد من التتار، كانوا يقومون بإشعال النيران على طول حدود إمبراطوريتهم، وكانوا يستعملون وسائل اصطناعية لزيادة السطوع ليتمكن الضوء المنبعث من النيران من اختراق الضباب والمطر. وأما جنكيز خان (Genghis Khan) (1115-1227) (شكل 1-2) فقد تحكم بفرسانه وضبطهم باستخدام تلغراف الرايات.



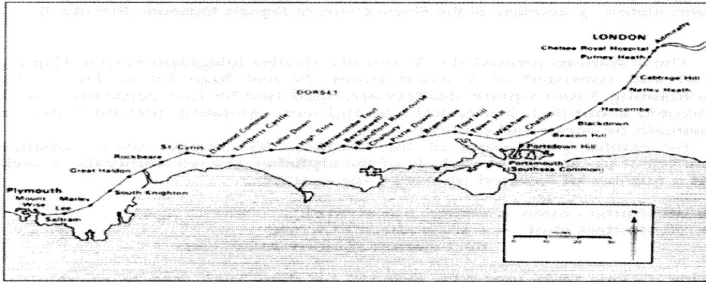
الشكل 1-2 جنكيز خان (1167 - 1227)

في العقود القليلة اللاحقة، أُجري عدد من التجارب من أجل إيجاد طرق بصرية عديدة أخرى، ففي العام 1633، مثلاً، قام ماركيز مقاطعة وركستر (Worcester) بتطوير نظام اتصال بعيد المدى باستخدام إشارات بيضاء وسوداء. وفي أوراق بحوث جون نوريس (John Norris) في مزرعة هوخيندون من مقاطعة باكنغهام شاير كان هناك تعليق مبهم:

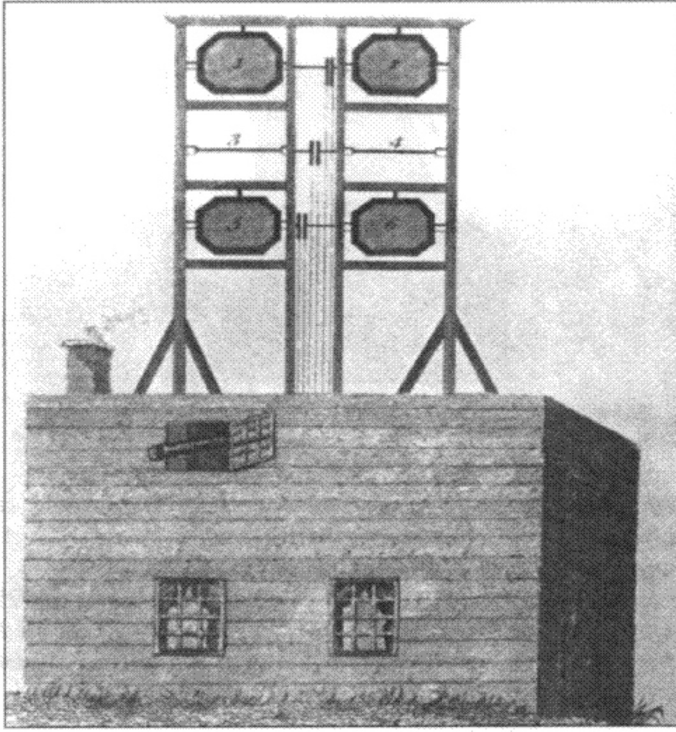
«3 حزيران/ يونيو 1778، تم في هذا اليوم استخدام المبرقة الشمسية «الهليوغراف» (Heliograph) من باريس إلى وايكومبي (Wycombe)، من قبل الدكتور فرانكلين.

في عام 1781 أقام نوريس برجاً بارتفاع 30 متراً على تلة في كامبرلي سورّي (Camberley, Surry) حيث كان يستخدم الهليوغراف من على قمة البرج لإرسال الإشارة والمراهنة مع اللورد لو ديسبنسر (Lord Le Despencer) في غرب ويكومبي».

نعود مجدداً ونُقلِّب صفحات التاريخ، ففي عام 1795 عُيّن اللورد جورج موراي (Lord George Murray) المبجل، وهو الابن الرابع لدوق منطقة آثول (Athol)، للإشراف على إعداد أو تهيئة سلسلة من محطات مصاريع (Shutter Stations)، تمتد من بليموث (Plymouth) إلى لندن. (الشكل 1–3).



الشكل 1–3 مواقع محطات تلغراف مصاريع الأميرالية (تقدمة متحف الهيئة الملكية لسلاح الاتصالات، بلاندفورد)



الشكل 1-4 منظومة تلغراف مصاريع أميرالي (رسم انطباعي للمحطة) - تقدمة متحف الهيئة الملكية لسلاح الاتصالات، بلاندفورد.

لقد شكلت هذه المحطات منظومة تلغراف مصاريع أميرالية رئيسة (Admiralty Shutter Telegraph) (الشكل 1-4). وقد تألفت كل محطة من إطار خشبي، بارتفاع 20 قدماً وبعرض 12 قدماً، يحتوي على مصراع (Shutter) بمساحة 3 أقدام مربعة رتبت بشكل عمودي (مصراعين مصراعين) متمحورة حول محور أفقي. وكان يتم تشغيلها من المبنى السفلي بواسطة الحبال والبكرات.

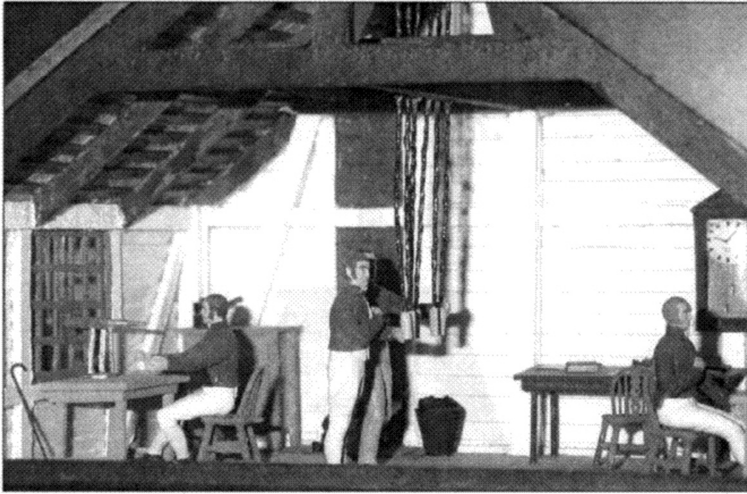
ومن خلال موضعة دقيقة للمصراع كان من الممكن الحصول على 63 متغيراً كافياً لتأمين أحرف الأبجدية كافة، بالإضافة إلى

الأرقام العشرة، ما كان كافياً للتعبير عن عدد من العبارات المختارة، على سبيل المثال :

- عندما تكون المصاريع مفتوحة كلها، فإن المحطة غير عاملة.

- عندما تكون المصاريع جميعها مغلقة، فإن المحطة على وشك العمل وتبقى المحطة التالية على أهبة الاستعداد للرد أو الإجابة.

كانت هذه المحطات تدار من قبل 3 أشخاص (شخص يدير المصراع، أما الشخصان الآخران فيعملان كمراقبين من خلال المنظار (الشكل 1–5). هذا وقد سُجّل معدل سرعة وصول رسائل من لندن إلى بورتسموث في غضون 15 دقيقة، في حين كان يمكن إرسال الإشارات المعدة مسبقاً من لندن إلى بليموث، وتأكيد استلامها من بلايموث في غضون 3 دقائق فقط.

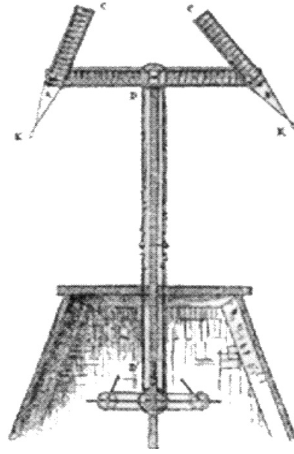


الشكل 1–5 نموذج عن محطة تلغراف مصراع، من الداخل في معسكر بلاندفورد (تقدمة متحف الهيئة الملكية لسلاح الاتصالات، بلاندفورد)

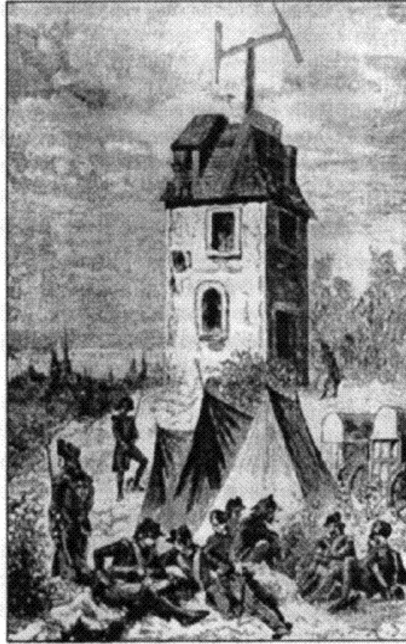
وعلى الضفة الأخرى من القنال الإنجليزي، وفي سنوات قليلة قبل المشروع الأميرالي (أي في عام 1792)، حوّل كلود شابيه (Claude Chappe) (وهو مهندس ورجل دين فرنسي) فكرة قديمة إلى واقع من خلال اختراع عمود إشارة تلغرافي بصري (Semaphore Visual Telegraph)، ونجح بإرسال رسالة من باريس إلى ستراسبورغ (مسافة تتعدى أربعمئة كلم)، باستعمال عناصر إشارة متحركة.

يتألف جهاز شابيه (تلغراف من نوع T، الشكل 1-6) من جناحين جانبيين، كل منهما مثبت على طرف جناح رئيس بزاوية 90 درجة، والجناح الرئيس بدوره مثبت على قمة سارية. ويمكن بتغيير وضعية الجناح الرئيس بالنسبة إلى السارية وتغيير زوايا الأجنحة الجانبية بالنسبة إلى الجناح الرئيس بزاوية 45 درجة، يمكن أن تعطي 196 إشارة مختلفة، ويمكن التعرف عليها بسهولة. وكانت مراقبة هذه الإشارات تتم من محطات قريبة باستعمال المنظار، ومن ثم ترسل إلى المحطة التالية بنفس الطريقة (الشكل 1-7).

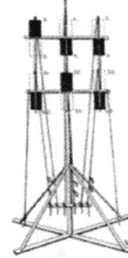
كانت هذه الطريقة أكثر فاعلية من الرسائل المحمولة يدوياً. غير أنها استبدلت في منتصف القرن التاسع عشر بالتلغراف الكهربائي. وكل ما تبقى منها اليوم عدد قليل من تلال التلغراف (Telegraph Hills) منتشرة هنا وهناك. غير أن نظام عمود الإشارة الذي اخترعه شابيه لم يكن الاختراع الوحيد، فقد كانت هناك أنظمة مشابهة له استعملت في الدنمارك، والنرويج، وفنلندا، وهولندا (كوراكاو Curaçao) كما هو مبين في الشكل 1-8.



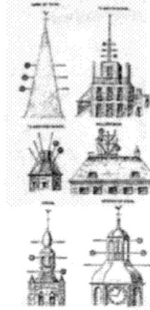
الشكل 1-6 تلغراف شابيه ذو عمود الإشارة البصري (تقدمة: Telemuseum)



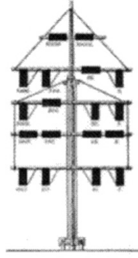
الشكل 1-7 مركز تلغراف في كونديه (Conde) في تشرين الثاني/ نوفمبر من عام 1794 (تقدمة: Telemuseum)



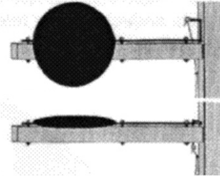
نظام تلغراف بصري في جزيرة كوراكاو في أوائل القرن التاسع عشر.



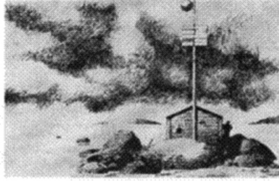
نظام الإرسال النرويجي الذي استخدم على قمم جبال ليدرهون (Lyderhorn) وألسفجلت (Ilsfjellet).



واحد من الأنظمة التي استهلت من الدنمارك بين عامي 1797 و1864.



مثال آخر عن نظام استعمل في هولندا



تلغراف بصري فنلندي على الخط بين هانكونيا في كرونستاد

الشكل 1-8 أمثلة عن عدد من أجهزة الإشارة الضوئية المبكرة (تقدمة: Telemuseum).

نعود مجدداً إلى فتح صفحات التاريخ، فقد لاحظ نابليون (1769-1821) أهمية الإشارة الضوئية فأنشأ محطات تلغراف في البلدان التي كان يشن عليها حملات، وزوّد جيوشه بمعدات تلغراف بصرية (Optical Telegraph Equipment)، وتلغراف متجول (Telegraph Ambulates) شبيه بتلغراف الأنثروبولوجي الكولونيل جون ماكدونالد (John Macdonald) الموضح في الشكل 1-9.

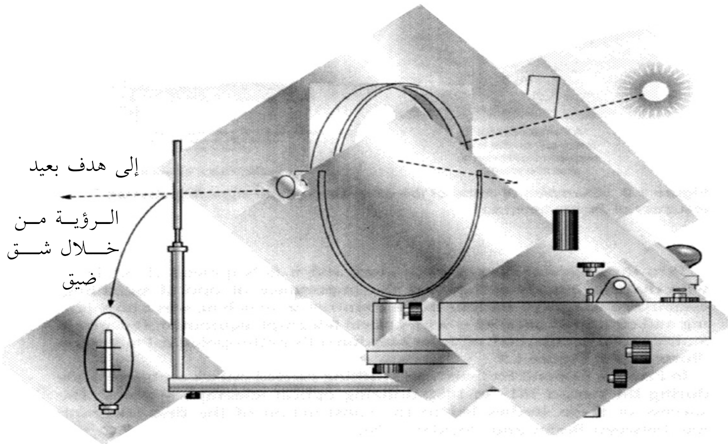
قام الجنرال فريير فون مافلينغ (Frieherr von Muffling) في بروسيا بعدة محاولات باستعمال نظام تلغراف بصري خلال الفترة ما

بين عامي 1819 و1830. وأدّى نجاح هذه الدراسات إلى بناء أول خط تلغراف بين برلين وبوتسدام. وخلال هذه الفترة طوِّرت عدة أنظمة هليوغراف، وأنظمة مصباح إشارة، ما سمح بإرسال إشارات إلى مسافة تتعدى 100 كلم.



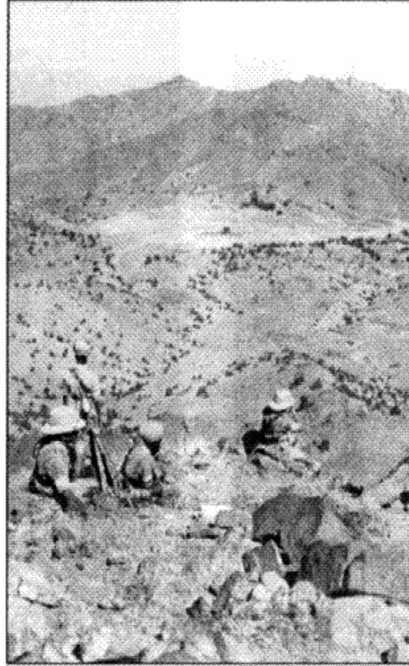


شكل 1-9 نابليون الأول (إمبراطور فرنسا 1769-1821) وتلغراف الأنثروبولوجي الكولونيل جون ماكدونالد (تقدمة المتحف الملكي لسلاح الاتصالات، بلاندفورد)



شكل 1-10 هليوغراف (مبرقة شمسية)

كان الهليوغراف يستخدم بشكل أساسي من قبل الجيوش لإرسال الإشارة إلى مسافة بعيدة. ويتكوّن من حامل ثلاثي خشبي وعدد من المرايا، كان الجزء الخلفي منها مغطى بلوح من نحاس وجدعة (Stump) نحاسية، ومحور متصل بمفتاح «مورس» (Morse) من خلال أنبوب نحاسي. ويستطيع المرسل من خلال الأنبوب المخرش (Knurled) ومفتاح «مورس» أن يرسل شيفرة «مورس» مستخدماً ضوء الشمس وإرسالها إلى المُستقبِل الذي يكون على مسافة بعيدة. وقد استعملت في خمسينيات القرن الثامن عشر أنظمة الهليوغراف بشكل كبير من قبل الجيش (الشكل 1-11).



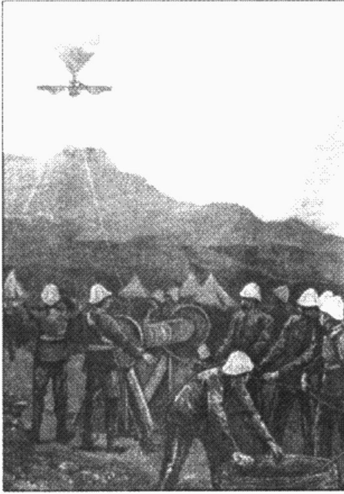
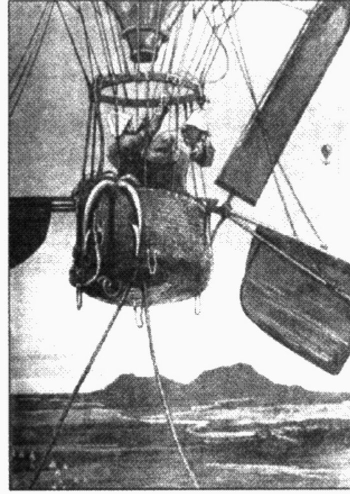
الشكل 1-11 عامل هليوغراف في الهند. (تقدمة الهيئة الملكية لسلاح الاتصالات، بلاندفورد)

يعتمد حجم مرآة الهليوغراف على الاستعمال المنشود، فقد استخدم أكبرها حجماً بشكل أساسي في المقرات الرئيسة والحُصُن. وكان قُطر المرآة يبلغ 12 بوصة. وأما وحدة المشاة فقد استعملت مرآة يبلغ قطرها خمس بوصات، وكان هذا القياس هو المعيار. وأما الحجم الأصغر منها فكان يبلغ ثلاث بوصات وقد استعملتها وحدة الخيّالة. واعتمد مدى الإرسال على قوة ضوء الشمس والرؤية. وفي الظروف المناخية العادية، يمكن توقع مدى المرآة ذات قُطر ثلاث بوصات أن يصل إلى 20 أو 30 ميلاً. وأما مدى المرآة التي يبلغ قطرها خمس بوصات فقد يبلغ 30 أو 40 ميلاً، بينما يبلغ مدى المرآة التي يبلغ قطرها 12 بوصة ما بين 80 و90 ميلاً، غير أن هذه المسافات كانت تتجاوز عملياً بشكل متكرر.

كان للهليوغراف مشكلة واحدة، إذ يمكن استخدامه فقط في الأيام التي تكون فيها السماء صافية. وقد تغلب المخترعون، مثل هنري كوكسويل (Henry Coxwell)، على هذه المشكلة باختراع إشارة المنطاد (Balloon Signaling).

ويُظهر الشكل 1-12 طريقة كوكسويل في تعديل مساحة أذرع الملوحة[*] (Semaphore Arms) ذات الأشكال والرموز العديدة من أجل إرسال المعلومات المراد إرسالها إلى الأشخاص على الأرض.

(*) نظام إشارات يستخدم علمين.

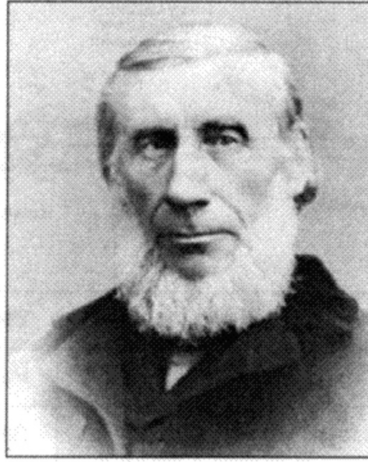



الشكل 1-12 منطاد هنري كوكسويل للإشارة (تقدمة لندن إلسترايتد نيوز، 8 تشرين الأول/ أكتوبر 1879)

في أربعينيات القرن الثامن عشر، أثبت العالمَين الفيزيائيَين، السويسري دانيال كولودون (Daniel Collodon)، والفرنسي جاك بابينيه (Jaques Babinet)، أنه بالإمكان توجيه الضوء عبر نفاثة ماء (Jet of Water) في أثناء عروض نافورات مائية. وفي خمسينيات القرن الثامن عشر قال جون تيندال (John Tyndell) (شكل 1-13)، وهو أستاذ مدرسة، إنه يمكن توجيه الضوء داخل مادة شفافة من خلال استخدام ماء يتدفق من خزان إلى آخر، مبرهناً أن الضوء ينعكس داخلياً لكي يتحرك في اتجاه معين.

كان المبدأ في غاية البساطة، فعند تدفق الماء من الخزان الأول، سلّط تيندال الضوء في اتجاه تدفق المياه نفسه، فاتبع الضوء مساراً متعرجاً داخل أنبوب الماء المنحني. وقد سُجّلت هذه التجربة البسيطة كأول بحث في نظريات الإرسال الموجه للضوء (Guided Transmission of Light).

وفي ثمانينيات القرن التاسع عشر سجل ألكسندر غراهام بل (Alexander Graham Bell) بالتعاون مع سونونير تاينتر (Sununer Tainter)، براءة اختراع لنظام هاتفي بصري سمّاه الهاتف الضوئي أو الفوتوفون (Photo Phone)، وعدّل بنجاح شعاع الشمس باستعمال مرآة حاجزة (Mirror Diaphragm).



شكل 1-13 جون تيندال، عالم بريطاني (1830 ـ 1893)

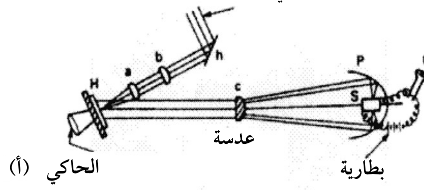
وكان هذا أول هاتف محمول! وقد كانت طريقة عمل الفوتوفون بسيطة جداً (الشكل 1-14.أ)، إذ تُعكس أشعة الشمس (أو أشعة ضوء من مصدر قوي) باستعمال مرآة مستوية (h) نحو منظومة عدسات (a وb) تشكل بدورها شعاع ضوء تسلطه على قطعة زجاج مطلية بالفضة (H). وعندما يتكلم شخص من خلال حاكي (Mouth Piece) المرسلة (انظر الشكل 1-14.ب)، فإن صوته يؤدي إلى اهتزاز قطعة الزجاج المطلية بالفضة ما يسبب تغيراً في السطح الذي يعكس الضوء عن الزجاج المطلي بالفضة. وهذا يؤثر في قوة أشعة الضوء التي تُضغط باستعمال مجموعة ثانية من العدسات (C)، ومن ثم يُعكس الضوء نحو الشخص المُستقبِل.

وفي الطرف البعيد (المُستقبِل) (انظر شكل 1-14.ج) تُتلقى أشعة الضوء من المرسل من خلال مرآة فضية عاكسة على شكل قطع مكافئ مطلية بالنحاس (Parabolic Silver-Coated Copper Mirror) (P). ومن خلال استعمال قطعة من السلينيوم حساسة للضوء (Selenium-Photoresistor) (S) مؤلفة من أسطوانة من ألواح نحاسية، مفصولة عن بعضها بعضاً بأشرطة من مادة الميكا مملوءة بالسيلينيوم (Selenium) (والسيلينيوم عنصر تتغير مقاومته حسب كمية الضوء التي تصطدم به)، وموصولة ببطارية وجهاز هاتف (t)، فيصبح الجهاز قادراً على إعادة توليد صوت المتكلم.

عندما يكون الطقس مشمساً، كان يزيد مدى إرسال جهاز الهاتف الضوئي على 200 متر، ولكن الجهاز لم يكن يعمل خلال الليل أو عندما يكون الطقس غائماً. وقد زيد مدى الإرسال إلى كيلومترين عندما دمج غراهام بل الكرة الكهربائية بعيد اختراع أديسون للمصباح الكهربائي، ولكن كان ما زال على المستخدم أن يحمل قطعاً من المعدات الكبيرة المتعبة معه، لا سيما أن المستخدم كان بحاجة إلى الجهاز الثاني (لاستقبال الرد) لإجراء اتصال ذي اتجاهين.

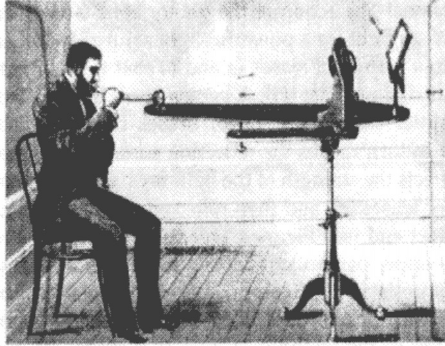
لقد أثبت اختراع ألكسندر غراهام بل للهاتف أنه اختراع عملي جداً، وعلى الرغم من أن غراهام بل كان يحلم بإرسال الإشارات عبر الهواء، إلا أنه وجد أن الجو لا يستطيع أن يرسل الضوء بشكل فاعل أو جيد كما تقوم الأسلاك بإرسال الكهرباء.

شعاع ضوء حاد من مصدر كهربائي أو شمسي

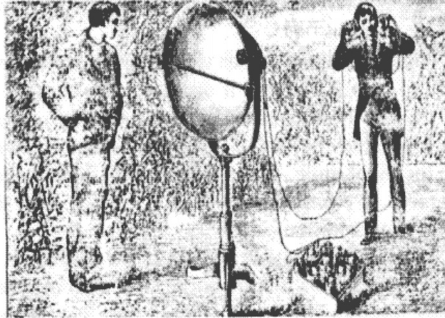


الحاكي (أ)

مرآة رقيقة جداً	H	مرآة مسطحة	h
عاكس إهليليجي (قطع مكافئ)	P	عدسة	b
سيلينيوم	S	عدسة خلية آلون لقطع الأشعة الحرارية	a
سماعة تلفون	t	عدسة الضغط	c



(ب)



(ج)

الشكل 1-14 تلفون ألكسندر غراهام بل الضوئي

الجدول رقم 1-1

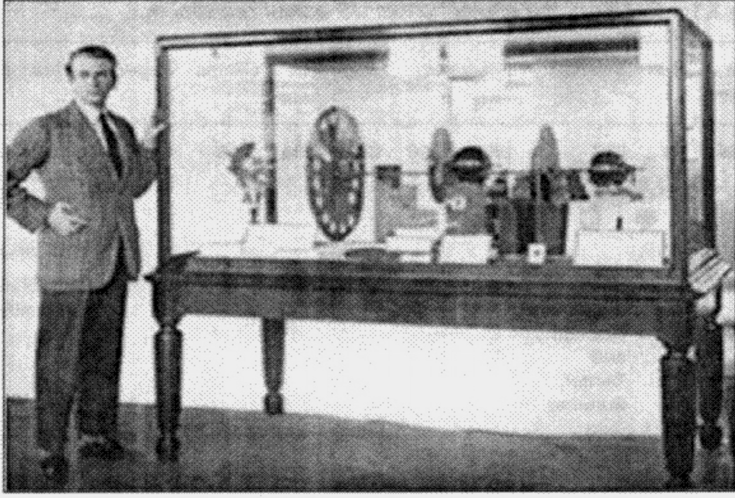
رقم البراءة	نوعها	المخترع	استخدامها	التغطية لغاية	الإدعاءات	عدد الصفحات	توصيفات
235.199	U	ألكسندر غراهام بل	08/28/ 1880	12/7/1880	18	13	جهاز إرسال إشارة اتصالات اسمه تلفون ضوئي فوتوفون
235.496	U	ألكسندر غراهام بل وتاينتر سونونير	09/25/ 1880	12/14/ 1880	3	3	مرسلة فوتوفون

كل هذه الطرق كانت تتأثر طبعاً بشفافية الرؤية الوسيلة الذي تمر من خلاله أشعة الضوء (مثل الهواء)، وكان الضباب، والمطر، والعواصف، والغيوم، والثلج، بعضاً من المشاكل التي كانت تواجه منظومات الاتصال. وكانت المشكلة الكبرى الأخرى التي أثرت في أنظمة الاتصال من خلال موجات الضوء عدم قدرة هذه الموجات على الدوران حول المنعطفات، وتفادي الأشجار، والمباني، والجبال. لذلك، كان خط البث، عبارة عن خط مرئي لا عائق فيه بين المرسل والمُستقبِل.

في الفترة نفسها، اخترع وليام ويلر (William Wheeler) منظومة

أنابيب ضوئية كانت مطلية بطلاء يعكس الضوء بدرجة عالية. وباستخدام الضوء من مصباح كهربائي موضوع في قبو، كان بإمكانه أن يضيء بيته بأكمله من خلال توجيه الضوء في البيت من خلال هذه الأنابيب. ولاحقاً في العام 1888، قام الفريق الطبي المكون من روث (Roth) وريوس (Reuss) من فيينا باستعمال قضبان زجاج مثنية لإضاءة الفجوات داخل الجسم. وفي العام 1895، صمم المهندس الفرنسي هنري ساينت ـ رينيه (Henry Saint -Rene) نظام قضبان الزجاج المثنية من أجل توجيه الصور الضوئية ـ كمحاولة أولى لاختراع التلفاز. وفي العام 1898، قدّم الأميركي دايفد سميث (David Smith) طلباً للحصول على براءة اختراع لجهاز قضبان الزجاج المثنية لاستعماله كمصباح في العمليات الجراحية. وفي نهاية القرن التاسع عشر، لاحظ كثير من المخترعين أنه يمكن لقضبان الكوارتز المثنية (Bent Quartz Rods) نقل الضوء، وسجّلوها كبراءة اختراع تُعين طبيب الأسنان، وكان كثير من الأطباء يستعملون ضاغطات اللسان المصنوعة من زجاج البلكسي (Plexyglass) المضاء.

في غضون ذلك، كانت تكنولوجيا جديدة تتطور ببطء لتحل في ما بعد مشكلة الانتقال البصري (Optical Transmission). واعتمدت هذه التكنولوجيا على ظاهرة تسمى بالانعكاس الداخلي الكلي (Total Internal Reflection) التي تستطيع أن تحصر الضوء في مادة وتكون بدورها محاطة بمادة أخرى ذات معامل انكسار أقل. ومثال على ذلك الزجاج في الهواء.



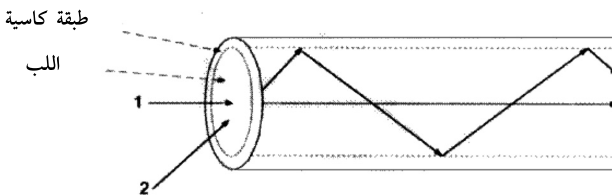
الشكل 1-15 جون لوجيه بايرد (1888 ـ 1946)

في خلال عشرينيات القرن التاسع عشر، قام المخترع الإنجليزي الشهير جون لوجيه بايرد (John Logie Baird) (الشكل 1-15)، المعروف أنه وراء اختراع التلفاز الميكانيكي ـ وهو النسخة الأولى من التلفاز الحديث ـ واختراعات أخرى متعلقة بالرادار والألياف البصريةَ بالتعاون مع الأميركي المدعو كلارنس هانسل (Clarence Hansell) بالحصول على براءة اختراع استعمال حزم من الأنابيب المجوفة أو القضبان الشفافة لإرسال صور للتلفاز و/أو أنظمة البريد المصور (Facsimile).

وفي ميونيخ، خلال ثلاثينيات القرن التاسع عشر، استطاع طالب ألماني يدعى هينريك لام (Heinrich Lamm)، يَدرُس الطب، خلال محاولة لإيجاد طريقة لرؤية أجزاء من جسم الإنسان لا يمكن الوصول إليها، أن يشرح بنجاح من خلال الاستعانة بالمصباح اليدوي، أنه من خلال تسليط ضوء مصباح على صورة، يمكن بث الصورة عبر حزم قصيرة من الألياف البصرية. غير أن الصور التي

بُثَّت عبر الألياف العارية كانت غير واضحة كثيراً وقوبلت جهوده من أجل الحصول على براءة اختراع بالرفض بسبب براءة الاختراع الممنوحة لِبيرد. وفي وقت لاحق (في العام 1951)، حاول هولجر هانسن (Holger Hansen) الحصول على براءة اختراع دنماركية عن اختراعه للتصوير بالألياف الضوئية، غير أنه قوبل بالرفض من قبل مكتب براءات الاختراع الدنماركي بسبب براءة الاختراع الخاصة ببيرد وهانسل. وحاول هانسن أن يثير اهتمام بعض الشركات باختراعة، غير أنه لم ينجح في ذلك.

ووفقاً للتاريخ، لم يظهر شيء جديد بخصوص استعمال حزم الألياف حتى عام 1954، حين نشر عالم هولندي يدعى أبراهام فان هيل (Abraham Van Heel)، من جامعة ديلفت التقنية، مقالة بخصوص حزم التصوير (Imaging Bundles) في جريدة *Nature* البريطانية المشهورة، وكان قد برهن أنه بدلاً من استعمال الألياف العارية (Bare Fibers) ذات الانعكاس الداخلي الكامل عند السطح البيني للزجاج والهواء، فإن الألياف المتناهية الصغر (سواء أكانت مصنوعة من الزجاج أم البلاستيك) إذا ما غُطّيت بطبقة شفافة ذات معامل انكسار ضئيل، فإن السطح العاكس للإشارة يصبح محمياً من التلوث، ما يقلل كثيراً من التشويش (Cross Talk) (وهو تسرب إشارة من ليف إلى آخر) بين الألياف.



الشكل 1-16 ليف بصري أساسي

يُظهر الشكل 1-16 أعلاه الاختلاف بين شعاع ضوء يدخل من زاوية صغيرة (1) مقارنة بشعاع آخر يدخل من زاوية أخرى (2). والنتيجة هي أن الأشعة المختلفة (أو أنماط الأشعة) للضوء ستصل إلى الطرف الآخر من الليف في أوقات مختلفة على الرغم من أن مصدر الضوء هو نفسه.

أدت تجربة فان هيل في النهاية إلى تطوير الليف المكسو بالزجاج (Glass-Clad Fiber) ذي توهين أقل من دسيبل واحد في المتر الواحد، والذي كان في حينها جيداً للتصوير الطبي، ولكنه كان عالياً جداً بالنسبة إلى قطاع الاتصالات السلكية واللاسلكية. وبالفعل، مع تنامي معدل استعمال الهاتف بشكل فاعل، وكذلك التلفاز والاستعمال الملموس للفيديو والإرسال الهاتفي حتى في يومنا هذا، فإن مهندسي الاتصالات يطالبون بالمزيد من موجات الإرسال.

لقد اكتُشف أن استعمال الترددات البصرية العالية هي أفضل حل. ومع اختراع الليزر في عام 1960 أُعلن في مجلة (*Electronics: 22 July Issue*) بأن قنوات الاتصال في توسع من خلال تطوير مضخم التردد البصري التجريبي، ومع ظهور ليزر الموجة المستمرة الهيليوم - نيون سرعان ما تحول هذا الإعلان إلى واقع.

غير أنه في عام 1965، كانت هناك بعض العوائق التقنية أمام استعمال الليزر، وكان دَليل الموجة البصري يشكل هو الآخر مشكلة. وكانت المشكلة بالأساس لأن الألياف البصرية كانت شبيهة جداً ببلاستيك الدليل الموجي العازل التي كانت تستعمل في كثير من تطبيقات الموجات الميكروية أو المايكرويف (Microwave)، فإن قلب الليف المسحوب كان صغيراً جداً بحيث إنها حملت الضوء عبر نمط دليل موجي واحد. والمشكلة الأخرى كانت أن معظم قطاع الاتصالات السلكية واللاسلكية قد انصرف عن استعمال الألياف لأنها

كانت كثيرة الخسارة (Too Lossy)! وهكذا، وفي حين أن التوهين لدسيبل واحد في المتر كان جيداً للاستعمالات الطبية (مثلاً، للنظر إلى داخل جسم الإنسان)، فإن الاتصالات السلكية واللاسلكية تستطيع تحمّل خسارة 10 أو 20 دسيبل في الكيلومتر الواحد كحد أقصى من أجل أن يمتد مداها إلى مسافات البعيدة.



الشكل 1–17 شارلس كاو

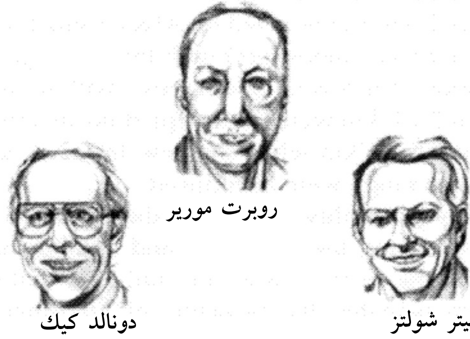
ولكن المساعدة كانت في طريقها، فقد جاءت من فريق من مختبر الاتصالات القياسي الذي يرأسه مهندس شاب من مدينة شانغهاي يدعى تشارلز ك. كاو (Charles K. Kau) (الشكل 1–17)، ومهندس شاب آخر متخصص بنظرية الهوائي (Antenna)، ويدعى جورج هوكهام (George Hockham) ـ كانا يحاولان أن يجدا حلاً لمشكلة توهين الليف. وباستعمال نماذج جُمعت من كل مجموعة من مصنعي الألياف، قاما تدريجياً ببناء قاعدة معلومات عن خواص الليف ساعدتهما للتوصل إلى استنتاج أن معظم الخسارة العالية للدسيبل في الألياف الأولى المبكرة كانت بسبب عدم نقاوة المواد المستعملة، وليس بسبب زجاج السليكا! وكانا مقتنعين أنه خلال التصنيع الحذر للألياف، فإن نسبة الخسارة يمكن أن تتضاءل إلى ما يقل عن الـ 20 دسيبل في الكيلومتر الواحد.

وقد قدم الاثنان، كاو وهوكهام، معاً بحثاً في اجتماع لندن لمؤسسة المهندسين الكهربائيين يحتوي على اقتراح لاتصالات بعيدة المدى عبر ألياف النمط المنفرد. ونُشر هذا البحث في الأول من نيسان/ أبريل، في مجلة *Laser Focus* عام 1966 كما يأتي:

> اكتشف الدكتور تشارلز ك. كاو من خلال الاختبارات التي أجراها في فترة قصيرة أن الدليل الموجي البصري الذي طورته مختبرات الاتصالات القياسية (Standard Telecommunication Laboratories - STL) لديه قدرة على حمل معلومات بسعة جيغا سايكل واحد (Giga Cycle)؛ أو ما يعادل 200 قناة تلفزيونية أو 200,000 قناة هاتف. ووصف كاو جهاز الـ STL بأنه مؤلف من نواة زجاجية يبلغ قطرها ثلاثة أو أربعة ميكرونات (Microns) مطلي بطبقة متحدة المحور من زجاج آخر ذي معامل انكسار أقل بنسبة 1 في المئة من المعامل الموجود في النواة. ويتراوح قُطر الدليل الموجي بين الـ 300 أو 400 ميكرون. وتنتشر الموجات البصرية السطحية على مدى السطح بين نوعين من الزجاج.
>
> ووفقاً للدكتور كاو فإن الألياف قوية نسبياً ويمكن دعمها بسهولة. كما إن سطح التوجيه محمي من التأثيرات الخارجية، ولدى الدليل الموجي شعاع ذو انحناء ميكانيكي ضئيل ما يكفي لجعل الألياف لينة. وعلى الرغم من حقيقة أن أفضل المواد الجاهزة المتوافرة هي المواد ذات الخسارة المنخفضة التي لديها كمية خسارة تبلغ حوالى 1000 dB/km، فإن مختبرات الاتصال القياسية تعتقد أنه سيتم في النهاية تطوير مواد ذات خسارة أقل من عشرات الـ dB/km.

وبناءً على الدراسة التي قدّمها كاو وهوكهام، قام مكتب البريد البريطاني بإنشاء صندوق دعم من 12 مليون جنيه استرليني لتمويل مشروع دراسة لإيجاد طرق من أجل خفض خسارة الدسيبل في

الألياف. وفي الوقت نفسه كانت عدة مؤسسات ومختبرات حول العالم تُجري دراسات وبحوثاً لإيجاد طرق للتقليل من خسارة الدسيبل في الألياف. وركّزت معظم هذه البحوث على محاولة تنقية الزجاج المستعمل في الألياف البصرية، ولكن أجرى ثلاثة باحثين (هم روبرت موريز (Robert Maurer)، دونالد كيك (Donald Keck)، وبيتر شولتز (Peter Schultz)، الشكل 1-18)، في شركة كورني للزجاج تجارب باستعمال السليكا المذابة، وهي مادة يمكن أن تكون نقية جداً، ولكن ذات درجة انصهار عالية ومعامل انكسار منخفض، من خلال إضافة مقادير متحكَّم بها من المقوّيات (Dopants) بحذر؛ وقام باحثو كورنينغ بنجاح بزيادة معامل انكسار اللب (Core) بدرجة أعلى من المعامل الموجود في الطلاء بقليل، ولكن من دون زيادة في التوهين بشكل كبير.



الشكل 1-18 أوائل الباحثين في شركة كورنينغ (Corning)

أثمرت تجارب باحثي كورنينغ في أيلول/ سبتمبر عام 1970 عندما أعلنوا عن تصنيع ليف نمط مفرد بمستوى توهين أقل من 20 dB/km في خط هيليومي - نيوني ذي طول موجي يُساوي 633 نانومتر. ويعتبر هذا التقدم المفاجىء بداية اتصالات الألياف البصرية

الذي فتح أبواباً لتسويق الألياف البصرية، أولاً في خدمة التخابر بعيد المدى، ولاحقاً في عالم اتصالات الكومبيوتر (مثل الإنترنت) وحتى في الأجهزة الطبية مثل الإندوسكوب (Endoscope) المعاصر.

وسجلت شركة كورنينغ براءة اختراع سلك الليف البصري أو ليف الدليل الموجي البصري (Optical Wave Guide Fiber) برقم 3711262، وبلغت قدرته على حمل معلومات حوالى 65000 مرة أكثر من قدرة السلك النحاسي من خلال نمط من الموجات الضوئية التي يمكن تفكيك رموزها (الشيفرة) لدى المرسل إليه حتى لو كان على بعد آلاف الأميال. وحلّ الفريق المشكلة التي قدمها الدكتور كاو وأصبح مُتَفَقٌ الآن على أن اتصالات الألياف البصرية هي من أكثر 10 إنجازات هندسية مميزة في السنوات الخمس والعشرين الماضية. ومن المستبعد بشكل كبير (وطبعاً في خلال حياتي وما تبقى منها) أن تُطور أو تُكتشف طريقة أفضل لنقل المعلومات عبر المسافات البعيدة في المستقبل القريب.

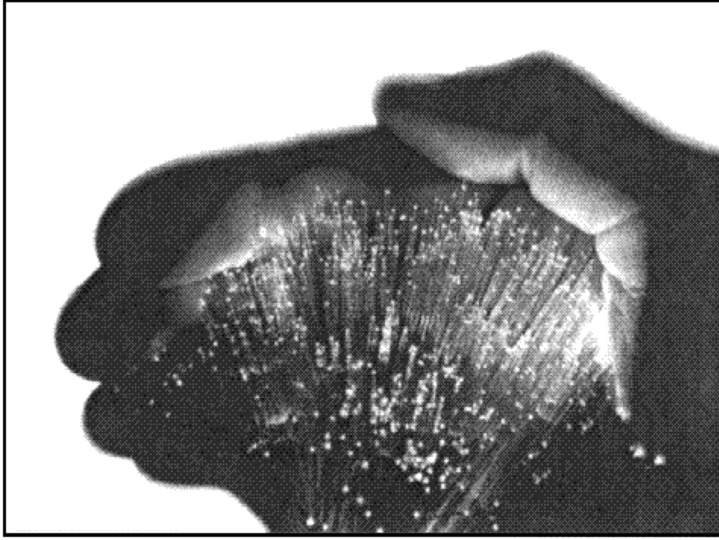
في العام الذي قامت به كورنينغ بتسجيل براءة اختراع ليف الدليل الموجي البصري، أي عام 1970، قامت مختبرات بل (Bell) في أميركا وفريق من مؤسسة لوف فيزيكال (Loff Physical) في سانت بترسبرغ (St Petersburg) بتصنيع ليزر بصمام ثنائي شبه موصل (Semiconductor Diode Lasers) قادر على بعث موجة مستمرة في درجة حرارة الغرفة. ومع ظهور طرق تصنيع أفضل واستعمال طول موجي أطول، فقد كانت تصنع الألياف بشكل تدريجي مع توهين أقل من الألياف التي كانت قبلها. وفي عام 1976 أجرت AT&T تجارب في حقل الهاتف باستعمال هذه الأنواع من الألياف لبث ضوء (بطول موجي يُساوي 850 نانومتر) بالاستعانة

بصمام زرنيخيد ألومنيوم الغاليوم الثنائي الليزري (Gallium Aluminum Arsenide Laser Diode) لعدة كيلومترات، ومن دون أجهزة تكرار (Repeaters). في حينها كانت الخسارة المقبولة تبلغ أقل من 2 دسيبل في الكيلومتر الواحد، غير أنه سرعان ما تقلصت المعايير إلى حوالى 0.5 أو 0.5 دسيبل في الكيلومتر الواحد عندما أُعلن عن ليزر InGaAsP الذي يعمل على مدى 1300 نانومتر.

على الرغم من أن دراسة استعمال القضيب العازل (Dielectric Rod) كدليل موجي كان قد بدأت في أواخر القرن الثامن عشر، وأن البحث الذي قُدّم عن هذا الموضوع في عشرينيات القرن العشرين، فإن استعمال الألياف الزجاجية أصبحت فعلاً اقتراحاً حيوياً في عام 1966 حين سجّل تشارلز كاو وجورج هوكهام براءة اختراع حول مبدأ بث المعلومات عبر وسيلة عازل شفاف، (أي الألياف الزجاجية).

ومنذ تطوير الألياف البصرية، فإن الكثير والكثير من الأنظمة أصبحت تستعمل الآن الألياف لنقل إشارات بصرية عبر مسافات بعيدة بخسارة قليلة جداً (مقارنة بالخسارات المجربة حين إمرار الإشارة الكهربائية عبر الأسلاك النحاسية). وبعد تطوير الصمام الثنائي الليزري، أصبح الآن استعمال الإلكترونيات البصرية الطريقة الفضلى في الاتصالات السلكية.

وبالفعل، فإن الألياف الزجاجية بسماكة شعرة من شعر الإنسان (انظر الشكل 1–19) تستطيع حمل ما يعادل 300 مليون اتصال هاتفي أي تقريباً كل الاتصالات الهاتفية التي تحصل في أميركا كلها في الوقت نفسه.



الشكل 1-19 حجم الألياف (تقدمة شركة كورنين لأنظمة الأسلاك جي. أم. بي. أتش. (corning Cable Systems GmbH)

1-2 المبادئ الأساسية لنقل الخط البصري

تستطيع بعض البلورات، مثل زرنيخيد الغاليوم، أن تبث ضوءاً ذا طول موجي قريب من الضوء المرئي عندما يتم تمرير تيار كهربائي من خلالها. ويظهر الشكل 1-20 التردد والطول الموجي للأشعة والضوء اللذين يشكلان الطيف الكهرومغنطيسي.

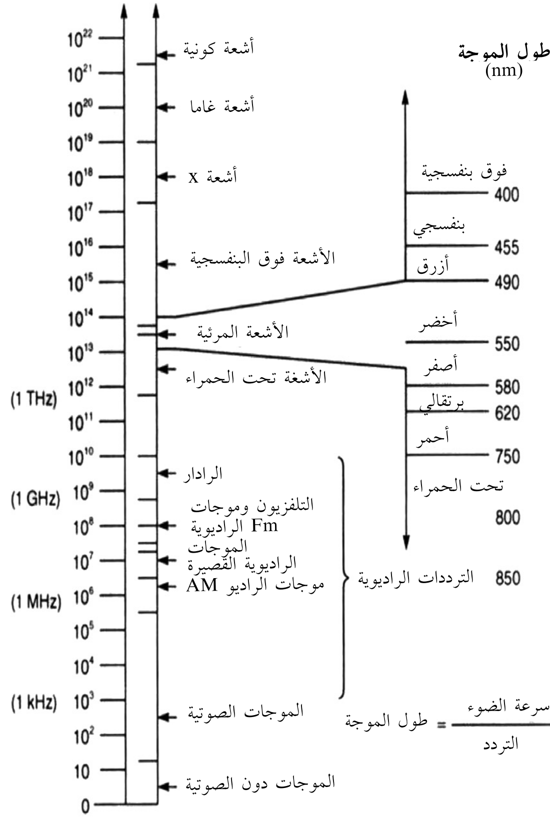
وكما نرى في الشكل 1-20، فالضوء المرئي (ذا الطول الموجي 100 نانومتر إلى 750 نانومتر) هو مجرد جزء صغير من الطيف. وتبدأ فوق هذا الجزء منطقة الأشعة تحت الحمراء (Infrared) (أي من 750 نانومتر إلى 1600 نانومتر) التي تستخدمها الألياف البصرية للبث ـ وذلك أن الألياف تنشر الضوء بشكل فاعل عند استعمال هذا الطول الموجي.

إن هذا الضوء ناتج من إطلاق طاقة (فوتونات) من ذرات مادة، تنتج الطاقة عندما تُحفَّز باستعمال الحرارة، أو التفاعل الكيميائي أو بوسائل أخرى. إن السلك الضوئي الزجاجي ذا الخسارة المنخفضة (Low-Loss Glass Fiberoptic) في يومنا هذا بإمكانه أن يوفر لنا عرضاً موجياً (Bandwidth) لامتناهياً وله محاسن وميزات أفضل من الميزات الموجودة في وسائل بث أخرى.

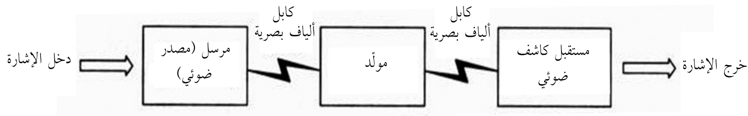
وفي نظام الألياف البصرية، تُحوّل موجات الصوت إلى إشارات كهربائية تُشفَّر إلى سلسلة من النبضات تُغذّى على شكل ومضات سريعة لموجة ليزر ضوئية عبر سلك الليف البصري. وعندما يتلقاها الطرف الآخر، يُفك التشفير، وتُحول مجدداً إلى موجات صوتية.

لذلك، فإن نظام الموجة الضوئية (الشكل 1-21)، يتألف من أربعة أجزاء أساسية: جهاز إرسال «بث»، وسلك الليف البصري، وجهاز مُستَرجِع أو مُعيد التَوليد (Regenerator)، وجهاز استقبال (Receiver).

إن جهاز الإرسال هو مصدر الضوء، ويمكن أن يكون صماماً ثنائياً باعثاً للضوء (Light Emitting Diode- LED) أو لليزر. ويتم تعديل هذا المصدر (أي يُشغّل أو يطفئ هذا المصدر خلال أو ضمن نظام رقمي)، حيث تمثل هذه العملية الأرقام الثنائية (Binary Digits) (أي الرقمين الواحد والصفر) التي يتلقاها النظام الرقمي من نظام البث الكهربائي. ومن ثم يحوّل جهاز البث الإشارة الرقمية أو التماثلية (Electrical Analog or Digital Signal) إلى إشارة بصرية لكي يتم إرسالها.



الشكل 1-20 الطيف الكهرومغنطيسي يُظهر أطوال موجات وترددات الإشارات الشائعة (تقدمة: Cable Table Pty LTd).



الشكل 1- 21 نظام موجات ضوئية أساس.

ملاحظة: سينتج من عناصر الشوائب في زجاج السليكا امتصاص شديد عند أطوال موجية معينة. ولكن النوافذ ذات التوهين الضئيل توجد عند حوالى 1300 نانومتر و1550 نانومتر وهي التي تُستغلّ لاستعمال أنظمة الألياف البصرية ما تحت الحمراء المعاصرة. وأما فوق الـ 1700 نانومتر

سيبدأ الزجاج بامتصاص الطاقة الضوئية، وذلك بسبب رنين الإلكترونات الجزيئية لأكسيد السليكون، وبذلك فإن أكثر الأطوال الموجية المعتمدة التي يعمل بها من أجل الإرسال البصري هي 850 نانومتر؛ 1300 نانو متر أو 1550 نانومتر .

أما المرحلة التالية فهي سلك الليف البصري الذي يعمل كدليل موجي للإشارة البصرية. ويمكن أن يتألف السلك من موصل مفرد (Single Strand) من زجاج مصنوع خصيصاً، أو من عدة موصلات مجموعة مع بعضها. وعلى الرغم من أن سماكة موصل الليف البصري (Fiber Optic Strand) الواحد لا يتعدى سماكة شعرة الإنسان، فإن قُطر السلك قد يصل إلى بوصة ونصف البوصة، وذلك بعد تغليف الموصل في درع واقية (Protective Coverings).

ملاحظة: بالرغم من الحماية المميزة التي يوفّرها السلك للألياف التي يحويها، فإن عملية التصنيع شبيهة بالعملية التي تصنّع فيها الأسلاك الكهربائية. وتُستعمل عادةً وصلة بصرية للأجهزة التي تحتاج أن تبث على مدى مسافات متعددة الكيلومترات، أو عند الحاجة إلى وصل سلكين أو أكثر من أسلاك الألياف البصرية.

وأما الجزء الثالث من نظام الأمواج الضوئية فهو المولد المعيد (Regenerator)؛ فعندما تنتقل الإشارة الفوتونية عبر موصل الليف البصري، فإنها توهن (Attenuates) وتبدأ بخسارة شكلها. فإن لم يعد توليدها بشكل دوري، فإن الإشارة ستكون مشوشة ولا يمكن التعرف عليها في الطرف الآخر. ويمكن أن تكون هذه المولدات أجهزة تحويل من إشارة بصرية إلى إشارة كهربائية، ومن ثم إلى إشارة بصرية، وعادةً ما تكون موجودة في الأنظمة البرية (Terrestrial) أو أجهزة بصرية بالكامل تكون موجودة عادة موجودة في أنظمة الأمواج الضوئية التي توجد عادةً في أعماق البحار.

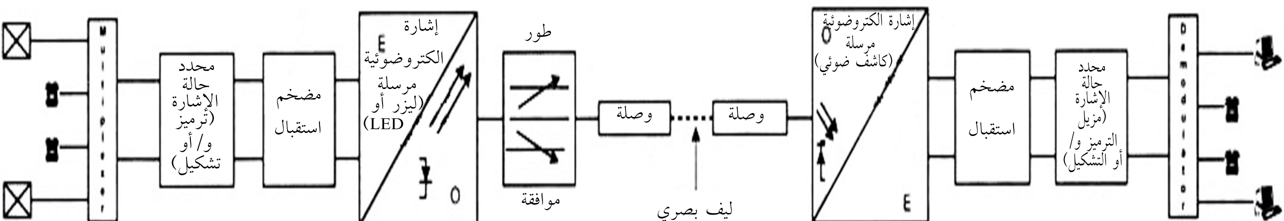
وأخيراً، هناك جهاز الاستقبال؛ وهو عبارة عن كاشف ضوئي

يستقبل الإشارة البصرية من الألياف ويحوّلها إلى نسخة كهربائية مطابقة للإشارة الكهربائية الأصلية لبثها إلى الجزء غير البصري من الشبكة. والكاشف الضوئي هو إما ذو وصلة ثلاثية موجبة ذاتية سالبة (Positive Intrinsic Negative - PIN)، أو صمام ثنائي ضوئي تيهوري (Avalanche Type Photodiode).

ومن خلال استخدام هذا المبدأ يصبح من السهل إجراء الاتصال (مثلاً، عبر الهاتف) عبر وصلة بصرية كما هو مشروح في الشكل 1-22.

يقوم الميكروفون من جهاز الهاتف بتحويل الكلام (أي الموجات الصوتية) إلى طاقة كهربائية. ومن ثم يُستعمل المُضاعف متعدد الإرسال (Multiplexer) بجمع هذه الطاقة مع قنوات معلومات مشابهة لتكون مجموعة معلومات. ومن ثم يجري التشفير (إذا دعت الحاجة) ومن ثم تضخم قبل أن تُحوّل إلى إشارة ضوئية من خلال ناقل طاقة بلوري إلكترو - بصري (عادة ما يكون صماماً ثنائياً باعثاً لضوء أو صماماً ثنائياً ليزرياً) ومن ثم تُبثّ هذه الإشارة عبر ليف دليل موجة بصري (Optical Fiber Waveguide) يمكن أن يمتد إلى مسافة كليومترات عدّة.

في الطرف الآخر للوصلة البصرية، وعند استقبال الإشارات الضوئية، تُحوّل من جديد إلى طاقة كهربائية (من خلال استعمال نوع آخر من ناقل الطاقة الإلكتروبصري يسمى بالكاشف البصري) ومن ثم يضخم، ويجري تفكيك التشفير، ويُعاد توزيع الإشارة إلى قنوات التكلم الخاصة بها بشكل مفرد، ومن ثم يعاد تحويلها إلى موجات صوتية يمكن للمشترك أن يسمعها من خلال جهاز ناقل طاقة صوتي إلكتروني (أي سماعة الهاتف).



الشكل 1-22 نظام أساس للاتصالات الإلكتروبصرية

3-1 محاسن الألياف البصرية والإشارة الإلكتروبصرية



الشكل 1-23 محاسن الألياف البصرية والإشارة الإلكتروبصرية

المحاسن الأساسية لاستعمال الألياف البصرية والإشارة الإلكتروبصرية هي:

- أنها محصنة من الحقول الكهربائية والمغنطيسية.
- توهين منخفض ـ مسافة أطول بين المولدات.
- موجة الإرسال العريضة ـ عدد كبير من القنوات.
- حجم وثقل صغير.

- مرونة متزايدة.
- العزل الكهربائي - فرق الجهد (Potential Difference).
- مناعة من التداخل الكهرومغنطيسي، بحيث يمكن استعمال الليف في بيئة مليئة بالتشويش الكهربائي.
- حماية كهربائية ـ نظام أمن مُحسن.
- إرسال رقمي وتماثلي.
- جهاز تلق حساس.

1-3-1 الحصانة من الحقول الكهربائية والمغنطيسية

بما أنه لا يوجد للفوتونات شحنات كهربائية، فإنها لا تتأثر بالعواصف الكهربائية أو الحقول الكهربائية التي عادة ما تكون موجودة في بيئة ذات تيار كهربائي عالٍ (فولتية خفيفة) (Light Voltage). كما إنها محصنة ضد تأثيرات النبضات الجوية الداخلية والخارجية (Endo- and Exo-Atmospheric Pulse)، وعلاوةً على ذلك، فإن الحقول المغنطيسية الناتجة من المحولات والمحركات... إلخ، لن يكون لها أي تأثير في خاصية البث البصري للألياف. كما إن أسلاك الألياف البصرية لا تتأثر بأحوال الطقس، ما يسمح لها أن تندفع مباشرة في أقطاب التلفون أو الأسلاك الكهربائية الموجودة، من دون قلق من التقاط الإشارات الصغيرة الغريبة.

بما أن الوسيلة المستعملة للبث في أسلاك الألياف البصرية مصنوعة من الزجاج، فيمكن تمرير هذه الأسلاك في بيئات صعبة أو مليئة بالتشويش مثل أعمدة المصاعد أو أنفاق القطارات، ومن دون أن يتسبب ذلك بانخفاض في مستوى أو توهين نوعية الإشارة. (انظر الشكل 1-24)



شكل 1–24 أسلاك الألياف البصرية معلقة على جدران نفق قطار (تقدمة QA photos Ltd)

1–3–2 التوهين المنخفض

عندما يتم إرسال إشارة كهربائية عبر سلك متحد المحور (Coaxial) فإنها ستُفقد؛ ويعتمد ذلك طبعاً على التردد، وستفقد نصف قوتها تقريباً بعد بضع مئاتٍ من الأمتار، بينما عندما تُرسل عبر الألياف البصرية (عادة ما تسمى بالدليل الموجي البصري)، ويعتمد ذلك طبعاً على طول موجة (Wavelength) المرسِل (انظر الفصل الثاني)؛ فإن قوتها ستبقى مقبولة بشكل كامل على بُعد مسافة 20 كيلومتراً.

ويجب الإشارة إلى نقطة، فعندما نَصف التوهين (Attenuation) يجب دائماً توضيح إذا ما كان المرء يتكلم عن المقاييس بالدسيبل الكهربائي أو بالمقاييس البصرية، وذلك لأن الدسيبل الواحد في المقياس الكهربائي يعادل 2 دسيبل في المقياس البصري، ومن المهم

جداً أخذ هذه الملاحظة بعين الاعتبار عندما نقارن التوهين في الأسلاك على الشكل الآتي:

كبل الليف بصري $10dB/km^{-1}$ = كبل كهربائي $20dB/km^{-1}$

والسبب في ذلك هو أن الطاقة البصرية (Optical Power) تتناسب طردياً مع التيار الكهربائي، بينما الطاقة الكهربائية تتناسب طردياً مع مربع التيار. ويمكن تلخيص ذلك على الشكل الآتي:

$$dB[optical] = 10 \log (P_{out}/P_{in}) = 10 \log (I_{out} / I_{in})$$

بينما:

$$dB[electrical] = 10 \log(P_{out}/P_{in}) = 20 \log (I_{out}/I_{in})$$

بالإضافة إلى أن:

$$dBm[optical] = 10 \log (P_{out}/1mW)$$

1-3-3 إرسال عرض الموجة الواسع

تؤخذ بعين الاعتبار قدرة الليف البصري على حمل معلومات كثيرة وتوصيلها إلى الطرف الآخر بدقة كبيرة أكثر من قدرة الأسلاك النحاسية أو الأسلاك متحدة المحور. مثال على ذلك؟ إن المعدل الأقصى للإرسال هو جيغا بت واحد (Gbit/s) في الثانية، وهذا ممكن باستخدام الأسلاك متحدة المحور التقليدية، غير أنه يمكن إرسال ما يزيد على 10 جيغا بت في الثانية باستعمال الدليل الموجي البصري، وتُجرى التجارب لزيادة هذا المعدل إلى 40 جيغا بت في الثانية، وربما حتى إلى 80 جيغا بت في المستقبل القريب.

1-3-4 الوزن والحجم الصغيران للألياف البصرية

هناك ميزة أخرى مهمة لأسلاك الألياف البصرية وهي أنها ذات حجم ووزن صغيرين مقارنة بالأسلاك متحدة المحور، إذ يبلغ قُطر السلك متحد المحور المستخدم في يومنا هذا حوالى عشرة ملم، بينما يتراوح قُطر السلك الليفي بين 0.1 و0.2 ملم، وحتى مع غلاف الحائط المصنوع من البلاستيك، فإنه يتراوح بين الـ0.25 والـ 0.50 ملم. وعلاوة على ذلك، فإن وزن السلك متحد المحور يتراوح بين 350 و1100 كيلوغرام في الكيلومتر الواحد، ويعتمد ذلك على النوع الذي يتم استخدامه، غير أن الليف المنفرد (إلا إذا كان مدرعاً أو يحتوي على عناصر تقوية (Strengthening Members) ثقيلة جداً، فهي تزن حوالى 12 كيلوغراماً في الكيلومتر الواحد). لقد كانت الميزات الفيزيائية للسلك النحاسي في السابق تعوق، وبشكل كبير، حجم السلك الذي يمكن أن يُسحب عبر القناة (Duct). ويجب أن تُراعى الاختلافات أو توضع بعين الاعتبار عندما نبحث عن طُرق لتركيب الأجهزة.

وهناك عامل آخر يستحق النظر فيه هو أن السلك النحاسي مزدوج الدرع - 1000 عادة ما يصنع كأجزاء بطول 400 متر لكل واحدة منها، ويتطلب هذا ربطاً متكرراً (Frequent Joining). غير أن استعمال أسلاك من ألياف ضوئية أخفّ كثيراً تتيح طولاً أكبر (أي 2000 متر)، ويمكن سحبها من خلال قناة من دون الحاجة إلى ربط (Joining)، كما إن كلفة النقل والمشاكل المصاحبة لأسطوانات السلك (Cable Drums)... إلخ هي أيضاً منخفضة بشكل ملحوظ.

يسمح الحجم الصغير والوزن الخفيف لأسلاك الألياف البصرية لعامل التركيب بأن يستعمل الأقنية الموجودة أو ممرات أسلاك من دون الحاجة إلى قناة جديدة.

1-3-5 ازدياد المرونة

عند تصميم أنظمة الاتصالات السلكية واللاسلكية، يجب أخذ مرونة أسلاك الألياف البصرية بعين الاعتبار مقارنة بمرونة أسلاك النحاس، إضافة إلى تعددية استعمال الألياف البصرية طويل الأمد.

يكون سلك الليف البصري، وحتى السلك الذي يحتوي على عدة ألياف، أصغر حجماً وأقل وزناً من سلك النحاس أو السلك متعدد المحاور، ومع ذلك فإن قدرة سلك الليف البصري على حمل المعلومات هي القدرة نفسها المتوافرة في السلك متعدد المحاور أو السلك النحاسي. ومن السهل جداً التعامل مع سلك الألياف البصرية، وتركيبه، كما إنه يحتاج إلى مساحة نفق أو أنبوب بمساحة أقل مما يحتاج إليه السلك النحاسي أو السلك متعدد المحاور. وبالفعل فإن سلك الليف البصري يُركّب عادة من دون تنفيق.

بالإضافة إلى أن الليف البصري أقل حجماً ووزناً، ولأنه يمتلك قوة شد عالية (High Tensile) (تعادل تقريباً ضعفي قوة السلك الكيلومتري (Kilometric) ويمكن مقارنتها، مع قوة أي مواد ذات قوة شد عالية مصنوعة حديثاً، بما فيها الحديد)، فإن الليف البصري أكثر مرونة ميكانيكياً من الأسلاك النحاسية أو الأسلاك متعددة المحاور. وهذا بالتحديد ميزة مهمة بالنسبة إلى النقل والتركيب حيث تكون المساحة عاملاً أساسياً (في الطائرات، مثلاً)، فإن الألياف البصرية يمكن ضَمها، أو جعلها جزءاً من أي بنى تحتية لأي شبكة بقليل من الصعوبة في التركيب والنقل أو من دون صعوبة البتة.

1-3-6 العزل الكهربائي

بما أن الألياف البصرية خالية من المعدن، فلا حاجة إلى تفريغ الدليل الموجي البصري، مثلاً. وبما أن الإشارة التي تُبثّ ليست

إشارة كهربائية، فإن الدليل الموجي البصري قادر على تجسير (Bridging) الفروقات الكبيرة في الطاقة الكامنة (Potential)، ويمكنه، مثلاً، أن يعمل عمل خط تحكم لمحطة تحويل الفولتية العالية (High Voltage Switching Station).

وبما أن الألياف الأساسية مصنوعة من الزجاج، فهي لن تصدأ ولن تتأثر بمعظم الكيمياويات، ويمكن دفنها مباشرة في معظم أنواع التربة، ويمكنها أن تتعرض لأكثر الأجواء الحاثّة (Corrosive Atmospheres) في المعامل الكيمياوية من دون القلق بشأنها. ويمكن كذلك تركيبها في أكثر الأماكن المعرضة للخطر مثل الأماكن التي تتضمن مواد كيمياوية متفجرة قابلة للاشتعال، من دون أن تشكل الأسلاك خطراً بتوليد شرارات.

1-3-7 الحصانة ضد التداخل والاعتراض الكهرومغنطيسي

بما أن الموجات الضوئية المحمولة داخل الألياف لا تُكوّن أي شكل من الحقول الكهرومغنطيسية، فإن سلامة البث مضمونة، ولذلك فإنه يستحيل افتراضياً أن تُعترض الإشارة الضوئية من الخارج. ويمكن تحقيق الوصل الفرعي (Tapping) للألياف من خلال عزل الليف العاري عن السلك، ومن ثم إكمال الوصل البصري في طبيعة الألياف. وعندما تُعزل الألياف وتُدخل في نقطة التوصيل، فإن ذلك سَيُقلّص من صافي قوة الدليل الموجي البصري التي سيكون بالتالي من السهل تعقبها باستعمال الجهاز البصري لقياس انعكاسية المجال الزمني (Optical Time Domain Reflectometer - OTDR) أو أداة مشابهة (انظر الفصل الثامن).

في حين أن الموجة الضوئية لا تتأثر بالتشويش الكهرومغنطيسي الخارجي، فإن احتمال التشويش (Crosstalk) الكهرومغنطيسي غير

وارد البتة. وإن حصل تسرب بصري، فسيُحتوى في الغلاف البلاستيكي أو الغشاء الخارجي الذي يحيط بالليف، وبذلك نضمن عدم ظهور تشويش بصري (Optical Crosstalk) بين الألياف.

1-3-8 الحماية الكهربائية

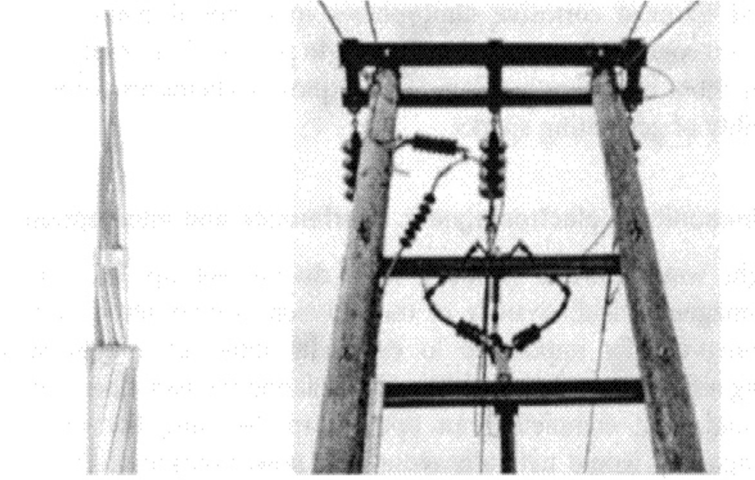
بما أنه لا يوجد أي حقل كهرومغنطيسي داخل قضيب الألياف، فلا يوجد حاجة إلى الحماية من الكهرباء أو الدرع الواقية من الكهرباء. إن الألياف محصّنة تماماً من جميع أنواع التداخل (Interference)، ومن ضمنها البرق، كما إنها لن توصل الكهرباء. وبذلك فمن الممكن وضع الألياف بلصق الخطوط والأدوات العالية التوتر من دون أي تأثير فيها. كما إنها لن تولد أي نوع من العقد أو الحلقات الأرضية (Ground Loops). إن أسلاك الألياف البصرية لا تتأثر بأحوال الطقس الخارجية، ما يسمح لها أن تكون مربوطة مباشرة في أعمدة الهواتف أو الأسلاك الكهربائية الموجودة من دون قلق أن تلتقط إشارات خارجية (انظر شكل 1-25).

ومن ناحية أخرى، بما أن الحامل الوحيد في الألياف هو الضوء، فلا يوجد مجال أن تولد شرارة من ليف مكسور أو معطوب. حتى في أكثر الأماكن عرضة للاشتعال المتفجر، فلا قلق من اشتعال النيران، كما لا يوجد خطر أي صعقات كهربائية للشخص الذي يقوم بتصليح الليف.

1-3-9 البث الرقمي والبث التماثلي

إن كلا البثّين التماثلي (من الإشارة المتغيرة بشكل متتال إما من خلال التعديل المباشر للطاقة البصرية أو من خلال استعمال ناقل ثانوي كهربائي (Electrical Subcarrier) لتضمين (Modulate) الطاقة

البصرية)، والبث الرقمي (بث الإشارة المنفصلة، الناتجة من تحويل الإشارة التماثلية إلى إشارة رقمية باستعمال نبضات ثنائية الضوئية (Binary Light Pulses) في نمط وقت دوري. ويمكن استعمال كلا البثين باستعمال الألياف البصرية.



الشكل 1-25 مد الألياف البصرية مع خطوط الطاقة الكهربائية

وبما أن جهاز الاستقبال يحتاج إلى قيمة نسبة الإشارة على الضوضاء الفولتية (Signal-to-Noise Ratio) للبث التماثلي، وبما أن تشويش (Distortion) الأنظمة الإلكتروبصرية لاخطي (Non-Linear)، فإن البث الرقمي هو الخيار الأفضل بأشواط كثيرة. وتستطيع أسلاك الألياف البصرية أن تحمل (Support) معدلات معلومات عالية جداً لمسافات أكبر، من قدرة السلك المتحد المحاور، ما يجعل سلك الليف البصري مثالياً لبث سلسلة من المعلومات الرقمية. ونتيجة قيود كهذه، يقتصر البث التماثلي عادة على المسافات القصيرة والسعات الموجية المنخفضة.

1-3-10 حساسية المستقبل

هناك ميزة أخرى للبث الإلكتروبصري بسبب الاستقرار الملازم (Inherent Stabilization) لجهاز الإرسال البصري والمحاكاة (Simulation) في أنظمة النمط المفرد (Single Mode) وعملية إزالة التضمين (Demodulation) معروفة التأثيرات من أنظمة كهربائية أخرى. وقد دلّت الحسابات النظرية على أنه يمكن توقع زيادة من 10 دسيبل إلى 15 دسيبل في حساسية المستقبل عند استعمال الأنظمة الإلكتروبصرية مقارنة بالأنظمة التقليدية.

1-4 مساوئ الألياف البصرية والإشارات الإلكتروبصرية

توجد لسوء الحظ مساوئ ترافق الألياف البصرية وأنظمة الإلكترونيات البصرية. ويتضمن هذا:



الشكل 1-26 خسارات الألياف الضوئية

- **الكلفة**
- **الوصل وطرق الاختبار**
- **الروابط القصيرة**
- **خسارات (فقدانات) الليف**

1-4-1 الكلفة

على الرغم من أن المواد الأولية المستعملة لتصنيع دليل الموجة البصرية (أي رمل الكوارتز) غير مكلفة ومتوافرة بكميات غير محدودة، غير أن كلفة إنتاج قضيب زجاج نقي كيميائياً (وجود ذرة غريبة واحدة في كل 910 ذرة سليكون) عالية جداً بسبب أدوات التصنيع المتطورة المعقدة والإجراءات المطلوبة.

1-4-2 التوصيل وعملية الفحص

بسبب صغر حجم الألياف مقارنة بحجم الأسلاك الأخرى، فقد كان يجب تطوير عملية الربط الدقيق، وهي تمارين الاختبار (انظر الفصل التالي) المصاحبة لها. وهذا مكلف من ناحية الموارد البشرية، والتدريب والأدوات.

1-4-3 جهد الشد

إن ما هو غير معروف تماماً، هو أن الألياف البصرية أكثر عرضة للالتواء، والانحناء، والتعرض للجهد من الأسلاك النحاسية. ويمكن أن يؤدي هذا إلى مشاكل، وبخاصة حينما يعاد مد هذه الألياف في الأبنية الموجودة. ولذلك فمن الشائع حصر تقنية الألياف البصرية في الربط الهاتفي وفي الأعمدة الأساسية للأبنية بقليل من الوصلات المضمنة في الأسلاك النحاسية.

1-4-4 الروابط القصيرة

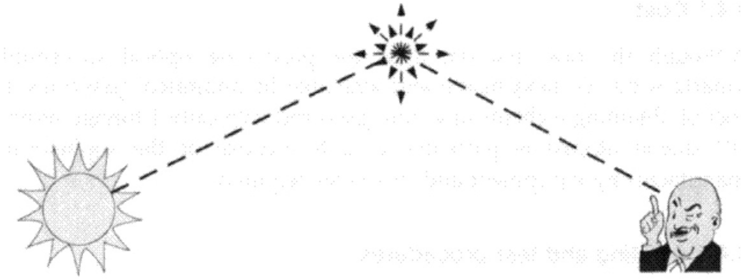
لو افترضنا أن أسلاك الألياف البصرية ليست باهظة الثمن، وحتى لو كان الأمر كذلك فهي لن تكون غير مكلفة عندما يتم تغيير كل موصّل (Connector) صغير تقليدي (مثلاً، بين الكومبيوتر والشبكة) موصول بوصلة ليف ضوئي، وذلك لأن سعر ناقل الطاقة

الإلكتروبصري سيكون هو العامل المانع. ولذلك، فإن وصلات الألياف البصرية تُستعمل حالياً أكثر للإرسال المتعدد بعيد المدى أو في الشبكات المحلية ذات الكثافة العالية.

1-4-5 الفَقْد في الألياف

إن معاملات التوهين هي دالة لطول الموجة البصرية، ولذلك تعتمد كمية الطاقة البصرية المتوافرة للكاشف الضوئي عند نهاية طول الليف وبشكل أساسي على معاملات توهين الألياف.

إن معظم الطاقة التي تُفقد في الألياف البصرية تكون بسبب استطارة الضوء. غير أن هذه الاستطارة الجزيئية (أي استطارة رايليه، الشكل 1-27) ضئيلة جداً مقارنة بالطول الموجي للأشعة وذلك بسبب التشوهات المجهرية (Microscopic Imperfections) في الزجاج.



الشكل 1-27 ظاهرة استطارة رايليه (Rayleigh).

إن من ميزات استطارة رايليه أن التدفق المستطار متناسب عكسياً مع الأس الرابع للطول الموجي، وإن درجة الاستطارة تزداد كلما اقترب الطول الموجي للضوء من حجم التشوه. لذلك سينتج توهين كبير عند الأطوال الموجية القصيرة.

ملاحظة: إن سبب اللون الأزرق في السماء هو استطارة ضوء الشمس عن جزيئات الغلاف الجوي. إن استطارة رايليه هذه فاعلة جداً في الأطوال الموجية القصيرة. لذلك فإن الضوء المبعثر نحو الأرض بزاوية كبيرة بالنسبة إلى اتجاه ضوء الشمس، هو الطرف الأزرق من الطيف بالدرجة الأولى.

إن التشتت هو سبب آخر لخسارة الطاقة، وسببه أن أشعة الضوء ذات الزوايا المختلفة ينتج منها مسارات ذات مسافات مختلفة. ويمكن التغلب على هذه المشكلة باستعمال الطبقة الوقائية الرقيقة المغلقة لليف (انظر الفصل 2).

إن انتقال إشارة الضوء في الليف هو شكلي (Modal) ومشابه لانتقال الدليل الموجي (Waveguide Propagation). على أي حال، عند التطبيق العملي، فإن قُطر السلك أكبر بكثير من قُطر طول الموجة البصري، ولذلك ينتج منها انتقال متعدد الأنماط (Multimode Propagation)، ولكل نمط سرعته الخاصة به. ومع مرور الوقت يؤدي ذلك إلى تشتت أو انتشار بالطاقة في الوقت الذي ينتقل فيه الضوء في الليف، ما يعني الحد من السرعة القصوى الممكنة للإشارات في سلك ذي طول معين.

بسبب توهين الليف والتشتت المادي، تركز أجهزة الإلكترونيات البصرية في الوقت الحاضر، وبشكل أساسي، على جزء الطيف الشمسي القريب من الأشعة تحت الحمراء أو الطول الموجي القصير (من 700 إلى 900 نانومتر ونمطياً 850 نانومتر). وتركز كذلك على منطقة الطول الموجي الطويل، أي (من 1200 إلى 1600 نانومتر: ونمطياً 1300 و1500 نانومتر). تتحكم استطارة رايليه بشكل كبير في خسارة طول الموجة القصيرة، بينما تتحكم قدرة المواد الزجاجية على الامتصاص في خسارة طول الموجة الطويلة. إن أدنى خسارة هي عند منطقة الـ 1300 نانومتر التي هي أيضاً طول الموجة التي تكون فيها قيمة تشتت المادة صفراً. ومع أن المصممين يفضلون

استعمال منطقة الطول الموجي الطويل لانخفاض حدة توهين الليف وللانتشار المنخفض للمواد اللذين يسمحان بعرض نطاق موجي أعلى، إلا أن الكلفة الباهظة تحد من استعمال هذا الخيار.

1-4-6 خسارات (فقدانات) أخرى

علاوة على العوائق الغامضة على سطح الليف، هناك دائماً خسارة بسبب الانعكاس عند دخل وخرج أي ليف. إن هذه الخسارة تدعى خسارة (فقد) فرسنل (Fresnel loss)، وتساوي حوالى 4 في المئة لكل انتقال ضوئي بين الهواء والزجاج. وهناك جيلاتين إقران خاص يمكن وضعه بين أسطح الزجاج لتقليص هذه الخسارة عند الحاجة.

1-5 التطبيقات العملية للإلكترونيات البصرية

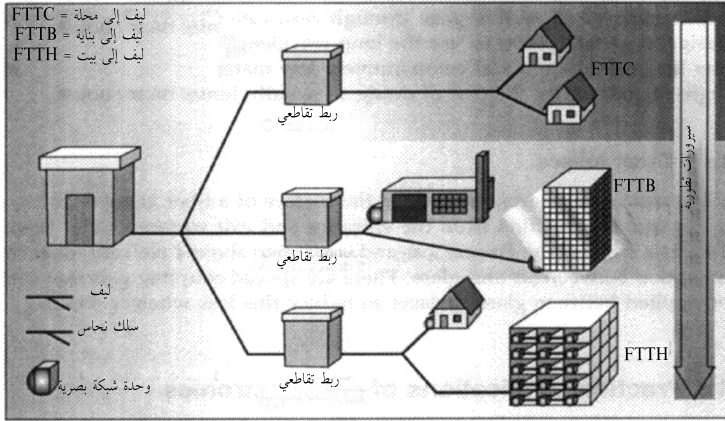
تشمل هذه التطبيقات ما يأتي؛ الاتصالات السلكية واللاسلكية، والتواصل المعلوماتي، والفيديو، والتحكم بالمجسات، والتطبيقات الكهربائية وحمايتها، وتطبيقات الطاقة (مثلاً، أضواء المرور، وأضواء عبور السابلة).

ملاحظة: إن استعمال الإلكترونيات البصرية في أضواء المرور وأضواء عبور السابلة يعني أنه من الممكن التخلي عن العاكس خلف المصباح. وقد ساعد هذا في منع أسباب الحوادث المعتادة على الطرقات حيث كان انعكاس ضوء الشمس على المصباح يوهم السائقين بأن المصباح مضاء، رغم أنه لم يكن في الحقيقة كذلك.

يمكن استعمال الألياف البصرية في البيئات الخطيرة مثل مصافي النفط حيث تستخدم الألياف البصرية مثلاً للتحكم بالمضخات التي تُعنى بملء الخزانات بالنفط.

وكذلك فإن آلات التصوير الموضوعة على الطرق السريعة لا تكون دائماً موضوعة لقياس السرعة، بل إن بعضها موضوع لمراقبة تدفق السير. وقد كانت آلات التصوير، في النظام القديم، توصل

بوضع أسلاك عبر الطريق. وأما الآن فإن آلات التصوير موصولة بجهاز تركيز (Concentrator) مع ليف يمر من خلال كل آلة تصوير. وبناء عليه، فإن حوالى 30 آلة تصوير يمكن أن ترسل الصور المتحركة عبر الليف مفرد النمط، ما يسمح للشخص الذي يراقب الشاشات أن يختار أي آلة التصوير التي يريدها، وبالتالي أن يشاهد الصور المتحركة التي تلتقطها آلة التصوير التي اختارها. إن هذا النظام لا يمكّنه الشخص بأن يبلغ الطوارىء عن حادث ما فقط، بل يمكّنه كذلك أن يعطي معلومات حساسة عن الحادث.



الشكل 1–28 مكونات شبكات الاتصالات بالألياف البصرية (تقدمة أنظمة كابل كورتينغ GMBH).

1–5–1 شبكات الهاتف

بسبب التوهين المنخفض وموجة الإرسال العالية للدليل الموجي البصري مقارنة بالأسلاك النحاسية المستعملة عادةً في شبكات الهاتف، فإن عدداً كبيراً متزايداً من وصلات الصندوق المحوري الطويل (Long-Haul Coaxial Trunk) التي تربط بين بدالات الهاتف قد استُبدلت بوصلات من الألياف البصرية (انظر الشكل 1–28).

1-5-2 شبكات مدينية لخدمات الموجة العريضة

إن أسلاك شبكة التلفاز المتحد المحاور قادرة باستعمال المعيد (Repeater) كل 400 أو 500 متر على نقل 20 إلى 30 محطة تلفزيونية منفصلة فقط، وباستعمال سعة إرسال كلي من حوالى 30 ميغاهيرتز. ولن تزيد سعة الإرسال باستعمال الدليل الموجي فقط، بل سيقل عدد معيدات التوليد التي تحتاج إليها الشبكة عادةً بشكل ملحوظ. وهذا بالتحديد مهم في الاتصالات المعاصرة في المدن حيث يمكن تأمين كثير من منظومات المعلوماتية (مثل المؤتمرات عبر الفيديو Video Conferencing)، وبيانات الفيديو (Videotext)، والإرسال الهاتفي المسجل بالفيديو (Video Telephony)، وشبكات الاتصال ذات الموجة العريضة (من أجل توسيع عمل البنوك ومؤسسات التبضع)، وكذلك الراديو السلكي (Cable Radio) و(التلفاز) عبر وصلة ليف بصري واحدة.

1-6 مستقبل الإلكتروبصريات

تطوّرت منذ ثمانينيات القرن العشرين التكنولوجيا المرافقة لأنظمة اتصال السلك البصري. وهذا له صلة بالتحديد بالنسبة إلى الشبكات وتكامل المعدات (الشكل 1-29).

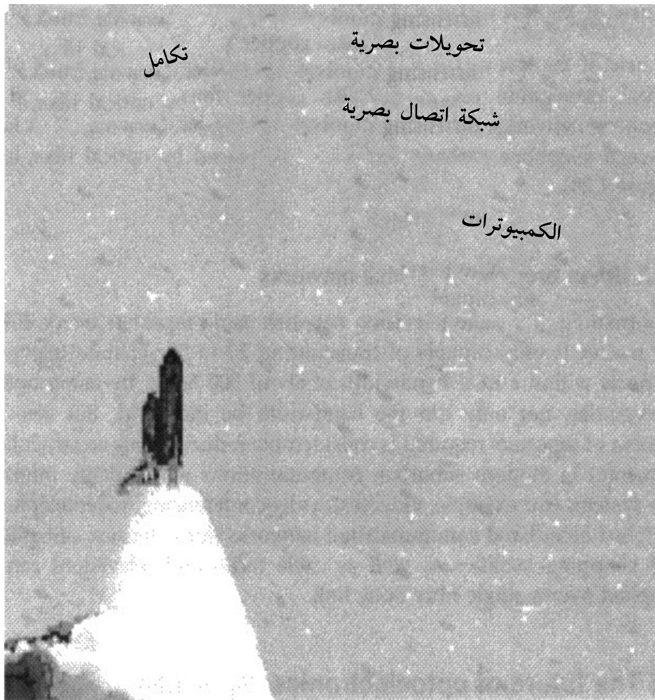
1-6-1 الشبكة البصرية الكاملة

إن الألياف البصرية، من دون شك، هي فعلاً طريق المستقبل والتطوّر الذي لم يسبق له مثيل في عالم الأعمال. وكما يتوقع الخبراء، سيستمر ازدياد طلب المستهلك لوصلات الألياف الضوئية العالية السرعة والصوت عبر بروتوكول الإنترنت (Voice Over Internet Protocol). ولذلك، يتصور العلماء أن تصبح الشبكة

البصرية واقعاً خلال السنوات القليلة المقبلة، وأن يستعمل البث البصري والمحوّل البصري (Optical Switch) (أي عمليات التحويل التي يتم التحكم بها مباشرة من خلال نبضة ضوئية) قريباً كبديل من التحويلات الإلكترونية والكهرومغنطيسية.

1-6-2 الكومبيوترات

لقد أصبح الليف البصري جزءاً من عصر الكومبيوتر بشكل متزايد يوماً بعد يوم، إذ إنه سريع البث واقتصادي ولا يوجد سبب للاعتقاد بأنه لن يستبدل كل الأسلاك النحاسية بشكل كلي.



الشكل 1-29 المستقبل القريب والتطبيقات الإلكتروبصرية المستقبلية.

1-6-3 سرعة نقل المعلومات

هنالك نوع جديد من الليف البصري في مرحلة التصميم أُطلق عليه اسم (ليف - 2) يُتوقع أن ينقل المعلومات إلى مسافات أبعد مما ينقله الليف الحالي وبسرعة أكبر.

1-6-4 التكامل

على الرغم من أن التكامل مركز بشكل أساسي على دليل الموجة البصري مفرد النمط وعلى تَكامل عدد من العناصر البصرية والعناصر الإلكترو- بصرية على سطح المادة الأساس من خلال سطح غشاء رقيق، فإن تطور هذه التكنولوجيا قد قلّلت من كلفة تصنيع المحولات الإلكترونية البصرية ومعيد التوليد... إلخ بشكل كبير. وبالإضافة إلى الكلفة المنخفضة، فإن هناك كثيراً من المحاسن الأخرى للتكامل: مَنها كثافة رزم عالية وزيادة في الوثوقية. ولعل أكبر انطباع أثاره التكامل كان بخصوص التضمين (Modulation) وأجهزة التحويل (Switching) التي لم تصبح أصغر فقط، بل قلّصت كلفة استهلاك الطاقة، أي إن أسلاك الألياف البصرية هي الحل لكثير من مشاكل اليوم المتمثلة بسرعة نقل المعلومات، ومشاكل اتصالات المعلوماتية ذات السعة الموجية العالية التي ستستمر في أداء دور كبير في شبكات الاتصالات والمعلومات المستقبلية.

في الفصل الأول، ألقينا نظرة على تاريخ الألياف البصرية وبعض الأشخاص الذين ساهموا في اكتشافها واستعمالها. وسنتعمق في الفصل الثاني قليلاً في نظريات الإلكترونيات البصرية، ومن ثم سنلقي في الفصول اللاحقة نظرة على أنواع المُرسِلات (الليزر والشبكات المحلية (LAN))، ومستقبِلات (الصمام الثنائي الضوئي) والألياف بحد ذاتها.

الفصل الثاني

النظرية

من الضروري لكي نفهم تماماً أساسيات الإلكترونيات البصرية أن نأخذ بعين الاعتبار النظرية الأساسية القائمة وراء هذا الاكتشاف. لذلك، فإن هذا الفصل، بشكل أساسي، هو بمثابة مقدمة عن الإلكترونيات البصرية، وإن كانت هناك حاجة إلى معلومات مفصلة أكثر، أرجو العودة إلى القسم الخاص بالمراجع من هذا الكتاب.

كان إقليدس (Euclide) الذي عاش في القرن الثالث قبل الميلاد (وهو عالم رياضيات إغريقي عاش في الإسكندرية بمصر) أول من لاحظ أن بركة الماء تبدو دائماً ضحلة أكثر مما هي عليه، ولاحظ كذلك أن الضوء عندما ينتقل من وسط ما (مثل الهواء) إلى وسط آخر أكثر كثافة (مثل الماء أو الزجاج) فإنه يلتوي (أو ينكسر) في الوسط الأكثر كثافة.



ملاحظة: قد يكون إقليدس بعد تلقي علومه درس في أكاديمية أفلاطون في أثينا. غير أنه أصبح في ما بعد عالماً ومعلماً في مدرسة في الإسكندرية معروفة باسم المتحف. وفي أثناء مكوثه هناك، ألّف أكثر أعماله تأثيراً، وهو العناصر (*Elements*). ويوجد في الجزء الثالث عشر من العناصر – أطروحة شاملة (Comprehensive Treatise) جمع فيها إقليدس ورتّب كل النتائج في علم الرياضيات المعروفة في عصره بشكل منتظم (مثلاً، جدول عن التعاريف، والمسلمات (Postulates) والبديهيات (Axioms) فقد أثبت افتراضاً بعد آخر، مؤسساً كل برهان على النتائج التي قدمها في البرهان الذي سبقه. وقد أدّت هذه الطريقة البديهية (Aaxiomatic) كما تعرف اليوم دور معايير للجدل العلمي، كما إنها لب علوم الرياضيات في عصرنا هذا.

في القرن الثاني الميلادي قام كلوديوس بطليموس (Claudius Ptolemy) عالم الفلك الإغريقي، بقياس الزاوية التي يوجّه الضوء فيها على الوسط الشفاف (أي زاوية الإسقاط والزاوية المقابلة لها التي ينكسر فيها الضوء في ذلك الوسط، (أي زاوية الانكسار) (الظاهرة في الشكل 2-2).



ملاحظة: كان بطليموس واحداً من أكثر علماء الفلك والجغرافيا والرياضيات تأثيراً في عصره. وأسس من خلال دراسته ومراقبته للسماء نظريته المعروفة باسم النظام المركزي الأرضي (Geocentric) أو مركزية الأرض (Earth - Centered)، المعروفة أيضاً باسم النظام البطليموسي (Ptolemiac). وتنص النظرية على أن الأرض هي مركز النظام الشمسي ويتبعها (بشكل خارجي) القمر، والزهرة، وعطارد، والشمس، والمريخ، وزحل، والمشتري .وقبل الجميع بنظامه حتى عام 1543 عندما قام نيكولاس كوبرنيكوس (Nicolaus Copernicus) باكتشاف النظام الشمسي المركزي (Heliocentric) أي مركزية الشمس (Sun - Centered) من أحد أعمال بطليموس الكثيرة، وهو كتاب علم الفلك البطليموسي القديم (Almagest) المقسّم إلى 13 قسماً، ويتحدث كل قسم عن مبدأ فلكي مختلف عن الآخر، وهو الأكثر شهرة وما زال مستخدماً حتى يومنا هذا.

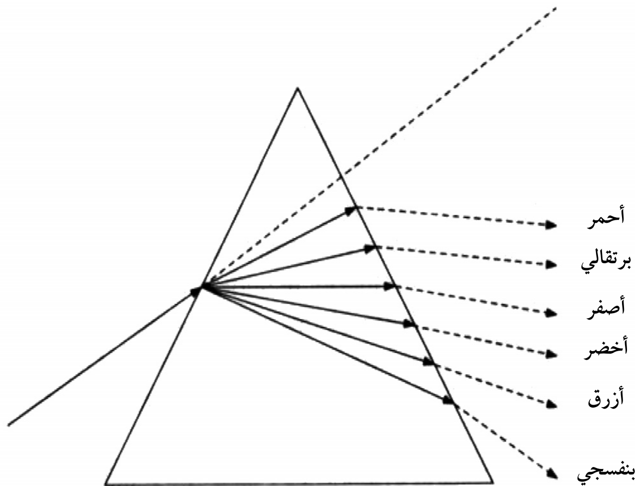
وقد أصدر بطليموس لاحقاً جداول عن اكتشافاته، واستنتج من هذه النتائج أنه عندما يوجّه الضوء على مادة شفافة مثل الزجاج، مع أن بعض الضوء ينعكس نحو الوسط الأصلي الذي أتى منه الضوء (مثلاً الهواء)، فإن جزءاً كبيراً من هذا الضوء يمر عبر الوسط الشفاف. وفسّر بطليموس بعدئذ الانعكاس الضوئي بأنه النسبة بين القدرة (Power) المنعكسة إلى القدرة الساقطة (Incident Power).

وقد عُرف في أيامنا هذه أنه عندما يمر الضوء من وسط إلى آخر (مثلاً، الهواء، أو الموشور الزجاجي – Glass Prism) تتغير سرعة الضوء، ويسبب هَذا انحراف الضوء، ويسمى هذا بالانكسار

في الفراغ. ويقطع الضوء مسافة تبلغ حوالى 300,000 كلم في الثانية (غير أنه يبطؤ في الوسط الكثيف). وكما يظهر في الشكل 2-1، ينتقل كل طول موجي للضوء بسرعات مختلفة في الوسط نفسه، ولكنه ينكسر بمعدل مختلف.

بما أن كل طول موجي (ولنصغ الجملة بشكل آخر، الألوان المختلفة في الضوء الأبيض) يغير سرعته بمعدل مختلف، فإنه سينكسر بشكل مختلف عما سواه، وسيُنتج طيفاً كما هو ظاهر في الشكل 2-1.

ملاحظة: من الآثار اليومية للانكسار الضوئي أن تتراءى لنا الأشياء تحت الماء كأنها على عمق ضحل عما هي عليه من عُمق في الواقع. وسبب هذا أن المراقب يرى الشيء تحت الماء من مكان عالٍ، ولأن العين المجردة لا تميز أن الضوء قد انكسر وهو في طريقه إليها.

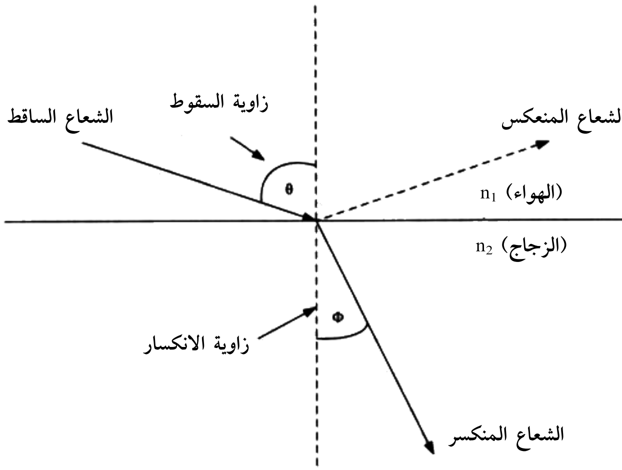


الشكل 2-1 السرعة المختلفة للأطوال الموجية (Wave Lengths) للضوء عبر الوسط نفسه.

2-1 الانكسار والانعكاس

عندما ينتقل الضوء خلال مادة شفافة ويصطدم بسطح مادة شفافة أخرى، سيحدث الأمران الآتيان:

- سينعكس بعض من الضوء.
- وسيمر بعض الضوء الآخر عبر المادة الشفافة الثانية.



الشكل 2-2 يظهر كيفية انعكاس الضوء عند عبوره من وسط إلى وسط آخر كثيف

يغير الضوء المنعكس عادة اتجاهه عند دخوله المادة الثانية. ويسمى هذا الانحناء الانكسار (Refraction)، وهو يعتمد على الحقيقة القائلة إن الضوء المرتحل بسرعة معينة في مادة ما سيرتحل بسرعة أخرى في المادة الثانية.

ونتيجة ذلك، فإن كل مادة لها معامل انكسار (Refractive Index) معين خاص بها يستعمل لحساب مقدار الانحناء الحاصل للضوء.

2-2 معامل الانكسار

تسمى الكثافة البصرية لمادة ما بمعامل الانكسار (n) وهي علاقة طردية بين سرعة الضوء في الفراغ وسرعته في الوسط أو المادة:

معامل الانكسار = سرعة الضوء في الفراغ/ سرعة الضوء في الوسط = n

وكما هو مبين في الجدول 2-1 يتغير معامل الانكسار في الزجاج بين الزجاج قليل التشتيت (Crown Glass) النقي والزجاج الظراني عالي التشتيت (Flint Glass) النقي وبقيمة مثالية هي 1.6.

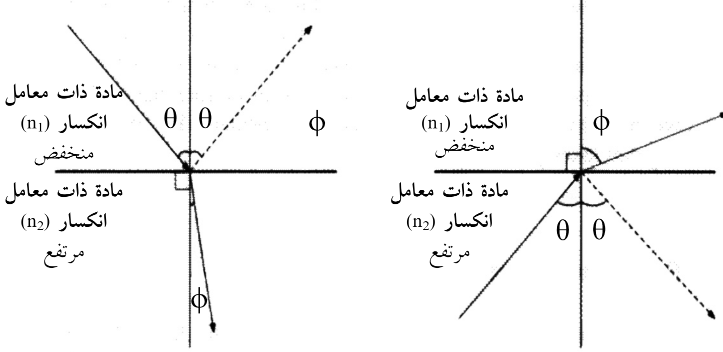
جدول 2-1 معاملات الانكسار (n) لأنواع مختلفة من الزجاج

الفراغ	100	زجاج ظراني كثيف	1.66
زجاج	1.51714	زجاج ظراني ثقيل جداً	1.89
زجاج الألبايت	1.4890	زجاج ظراني ثقيل	1.65548
زجاج قليل التشتيت	1.520	زجاج ظراني لانثانوم (Lanthanum)	1.80
زجاج قليل التشتيت، الزنك	1.517	زجاج ظراني خفيف	1.5803
		زجاج ظراني وسيط	1.62725

يؤثر معامل انكسار مادة معينة على الضوء، اعتماداً على:

- انتقال الضوء من مادة ذات معامل انكسار منخفض إلى مادة ذات معامل انكسار أعلى؛ أو
- انتقال الضوء من مادة ذات معامل انكسار أعلى إلى مادة ذات معامل انكسار منخفض.

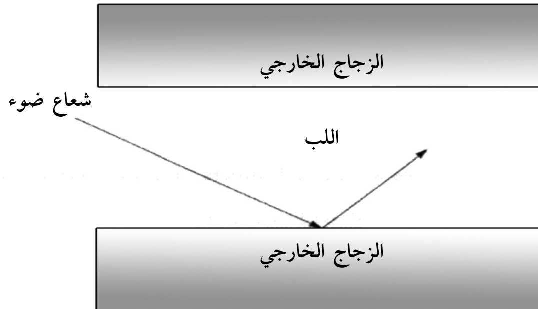
وتتجلى هاتان الحالتان بشكل بياني في الشكل 2-3:



الشكل 2-3 تأثير المواد المختلفة على الضوء.

2-3 الانعكاس الداخلي الكُلّي

يحدث الانعكاس الداخلي الكلي (TIR) (الشكل 2-4) عندما يلامس الضوء المنتقل في مادة ما مادة أخرى، فينعكس نحو المادة الأصلية (التي أتى منها). وفي الأنبوب الزجاجي، وبما أن اللب (Core) والأطراف الخارجية يتألف من أنواع مختلفة من المركبات الزجاجية، فإن الضوء الذي يدخل إلى اللب يصبح محصوراً ضمن حدود اللب (لأنه ينعكس داخل اللب) طالما أنه لم يتجاوز الزاوية الحرجة (Critical Angle) (انظر الجزء 2-5).



الشكل 2-4 الانعكاس الداخلي الكلي

يجب أن يتوافر شرطان ضروريان لحصول الانعكاس الكلي الداخلي

1 – يجب أن يكون معامل انكسار الوسط الأول أعلى منه في الوسط الثاني.

2 – يجب أن تكون زاوية السقوط أعلى (أو توازي) الزاوية الحرجة.

2–3–1 قانون سنيل

قدم ويلبرورد سنيل (Willebrord Snell) (1591 - 1626) في عام 1621 بحثاً كان، على الرغم أنه لم ينشر قط، تحدث فيه عن العلاقة بين زاوية السقوط وزاوية الانكسار لشعاع الضوء الذي يعبر الحدود بين وسطين. وادعى سنيل في هذا البحث بأن النسبة بين جَيْبي (Sines) زاويتي السقوط والانكسار للشعاع تبقى دائماً ثابتة.

يبقى الشعاع المنكسر دائماً موجوداً في المستوى (Plane) نفسه، إذ إن الشعاع الساقط وجيب زاوية الانكسار (ϕ) يعتمدا على جيب زاوية السقوط (ω) على الشكل الآتي:

مقدار ثابت = $\sin\theta / \sin\Phi = n_2/n_1$

حيث إن n_1 وn_2 هما معاملا انكسار المادتين التي يعبر الضوء من خلالهما. علاوة على ذلك هناك قانونان للانكسار هما:

1 ـ إن كلاً من الشعاع السقاط والشعاع المنكسر، والمحور العمودي (Normal) بينهما موجود في المستوي نفسه.

2 ـ إن النسبة بين جيب زاوية السقوط (θ) إلى جيب زاوية الانكسار (Φ) تبقى نسبة ثابتة بينهما، عندما تعبر أشعة الضوء من وسط شفاف إلى آخر.

تعرف هذه القوانين بقانون سنيل.



ملاحظة: لقد كان ويلبرورد سنيل عالم رياضيات هولندياً. وقد طوّر طريقة التثليث (Triangulation) لقياس المسافات مستعملاً الأبراج المدببة للكنائس وأسطح البنايات كنقاط مرجعية (Reference Points). ومن ثم طوّر هذه الطريقة لتصبح قادرة على تقدير قُطر الأرض بشكل دقيق جداً. وعُرف سنيل من خلال قانونه (1621) الذي هو أساس البصريات الهندسية (Geometric Optics) الحديثة.

على الرغم من أن قانون الانكسار معروف عموماً بقانون سنل، إلا أنه لم يستعمل كما يجب إلا بعد أعوام قليلة، حين قام رجل فرنسي يدعى رينيه ديكارت (René Discart) باستعمال قانون النسبة بين جيبي الزاويتين بشكل عملي كامل. ولذلك بات شائعاً (وبخاصة في فرنسا) أن تسمع أن قانون سنل يسمى قانون ديكارت.



ملاحظة: كان رينيه ديكارت (1596 ـ 1650) وهو عالم رياضيات فرنسي مشهور، بالإضافة إلى كونه عالماً وفيلسوفاً. ولد ديكارت في مدينة لاهاي (La Haye) وتسمى الآن بمدينة ديكارت، وتعلم في جامعة الجزويت في لافلاش بين عامي 1606 و1614. ولاحقاً ادعى ديكارت «بأن مرحلة دراسته لم تعطه إلا القليل من العلم، وأن الرياضيات وحدها هي التي أعطته المعرفة اليقينية». وقد كان ديكارت بشكل مثير للجدل أول فيلسوف في العهد الحديث يقوم بمجهود جدي ليهزم مذهب الريبة (Skepticism). وقد كانت آراؤه حول المعرفة والحتمية، بالإضافة إلى آرائه عن العلاقة بين العقل والجسد، مؤثرة على مدى القرون الثلاثة الأخيرة.

يمكن استعمال قوانين الانكسار لشرح كيف ستتفاعل الموجات الضوئية عندما تعبر خلال أكثر من وسطين ذات حدود متوازية (Parallel boundaries). وإذا كان معامل انكسار الوسط الأول والوسط الأخير متساويين (كأن يكون كلاهما هواء)، ولكنهما مختلفين عن الوسط الفاصل بينهما (مثل الزجاج)، فإن الضوء

سينكسر باتجاه المحور العمودي (Normal) عند دخوله الزجاج، وعند خروجه سينكسر الضوء بعيداً عن المحور العمودي بنفس المقدار تحديداً. وتكون النتيجة أن الشعاع الخارج يكون موازياً للشعاع الساقط غير أنه مُزاح جانبياً (Laterally Displacered) عنه.

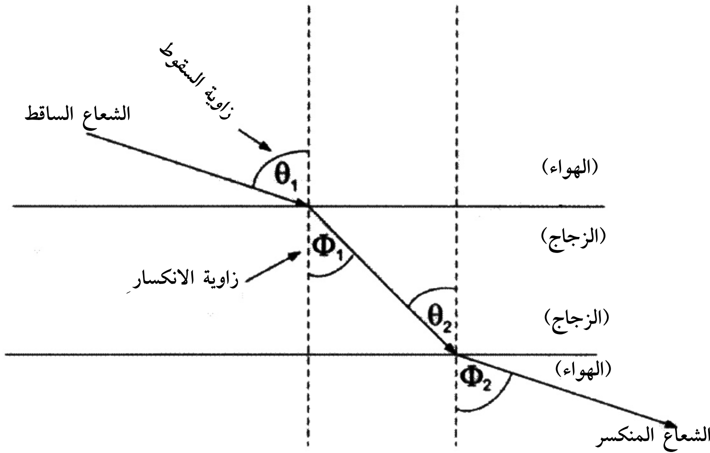
كما في الشكل 2-5، إذا تم توجيه شعاع ضوء نحو قطعة زجاج، يجب أن تتساوى الزاويتين (Φ_1) و(θ_2) لأن جهتي قطعة الزجاج متوازيتان. أي إنه:

$$n_2 \sin\phi_1 = n_2 \sin\theta_2$$

لذلك، وبالتالي فإنه:

$$n_1 \sin\phi_2 = n_1 \sin\theta_1$$

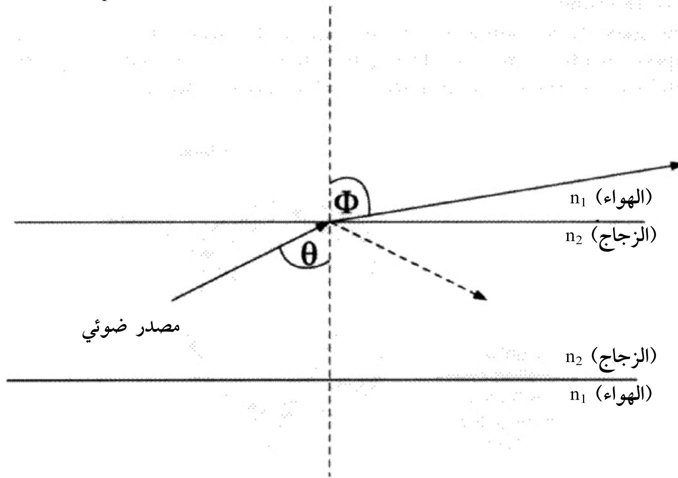
وعليه يجب أن تتساوى الزاويتان ϕ_1 وθ_1 دائماً.



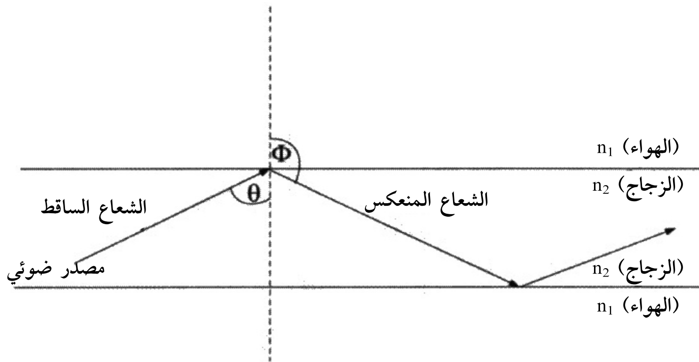
الشكل 2-5 يظهر مسار شعاع الضوء خلال قطعة زجاج ذات وجهين متوازيين.

غير أنه إن كان بالإمكان حصر الضوء ثم احتواؤه داخل أنبوب زجاج (انظر الشكل 2-6)، فعندها، حسب قانون سنيل، سيصطدم الضوء الخارج من المصدر بسطح الزجاج بزاوية θ ويخرج منها بزاوية Φ، بما يعادل ما يأتي:

$$n_2 \mathrm{Sin}\ \theta = n_1 \mathrm{Sin} \Phi$$



الشكل 2-6 مصدر ضوء جرى احتواؤه في أنبوب زجاج.

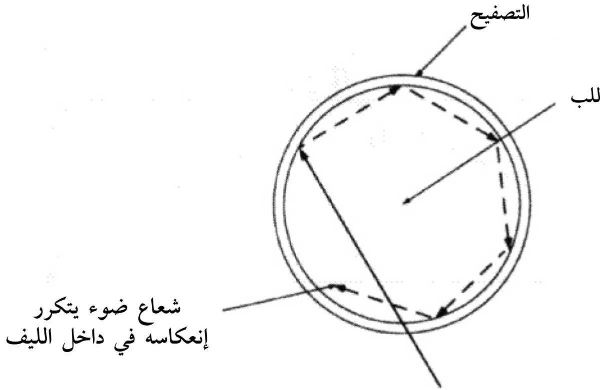


الشكل 2-7 الانعكاس الداخلي الكلي لشعاع ضوء داخل أنبوب زجاجي.

بما أن n_2 أكبر من n_1، يجب أن تكون ϕ أن تكون أكبر من θ.
وإذا كانت Φ أكبر من 90 درجة، سيحصل انعكاس داخلي كلي (أي، لاانكسار)، وسيبقى الضوء كله داخل الأنبوب الزجاجي (انظر الشكل 2–7). وعلاوة على ذلك، وبما أن جانبي الزجاج متوازيان، فإن أشعة الضوء المصطدمة على السطح ستنعكس إلى الداخل بزاوية تساوي زاوية السقوط.

وستنعكس الأشعة بدورها بالزاوية نفسها تماماً، ذلك أن الأشعة المنعكسة هي بدورها أشعة ساقطة، ولكن إلى الجهة المقابلة. وتستمر هذه العملية حتى تصل إلى الطرف الآخر من الأنبوب.

ولذلك، فإن أنبوب الزجاج يعمل كمرشد للضوء، حين يصبح الضوء محصوراً في الداخل. وأما الانحناءات (Bends) داخل الزجاج، فإنها غير مؤثرة نسبياً. غير أن الخدوش وتلوث السطح بالشحوم سيُحول الزاوية الفعالة للسقوط عند تلك النقطة بالتحديد. والسبب هو أن الشحم لديه معامل انكسار يقارب المعامل الموجودة في الزجاج. وبالنسبة إلى الشعاع، فإن هذا الشحم سيظهر وكأنه امتداد لسطح الزجاج (الشكل 2–8).

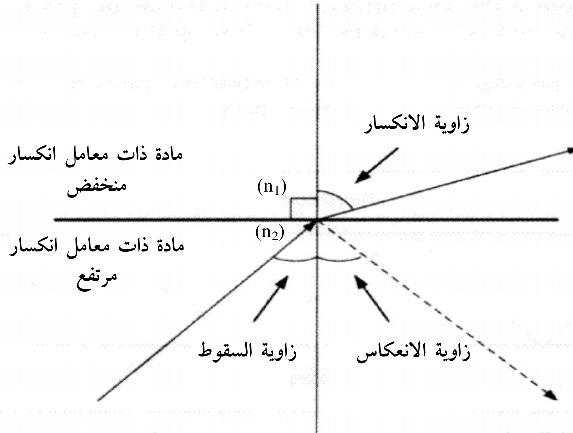


الشكل 2–8 رؤية مقطعية لليف تُظهر نمط انتقال الضوء داخل الليف

2-4 زاوية السقوط

بما أن الضوء المنتقل من وسط كثيف إلى آخر أقل كثافة ينكسر بعيداً عن الشاقول، فإن بعض الأشعة التي تصطدم بالحدود بين الوسطين بزاوية سقوط كبيرة لا تستطيع عبور هذه الحدود، غير أنها تنعكس كلياً إلى الداخل. وعادة، عندما يخرج الضوء من وسط كثيف إلى وسط آخر أقل كثافة، فإن الشعاع ينحرف بعيداً عن الشاقول. غير أنه عند التطبيق يحصل كذلك انعكاس ضعيف. فإذا زادت زاوية السقوط (الشكل 2-9)، تقترب الأشعة المنكسرة أكثر من الحدود الفاصلة بين الوسطين لأن زاوية الانكسار قد ازدادت هي أيضاً. ويصبح الشعاع المنكسر ضعيفاً، بينما يصبح الشعاع المنعكس داخل الزجاج أقوى.

ملاحظة: إن للانعكاس الداخلي الكلي كثير من الاستعمالات التجارية، فمثلاً، ينعكس الضوء داخل موشور ذي وجه قائم (90 degrees prism)بعيداً عن ذلك الوجه، ويمكن استعماله في المنظار الموشوري (Prismatic binocular).



الشكل 2-9 زاوية السقوط

5-2 الزاوية الحرجة

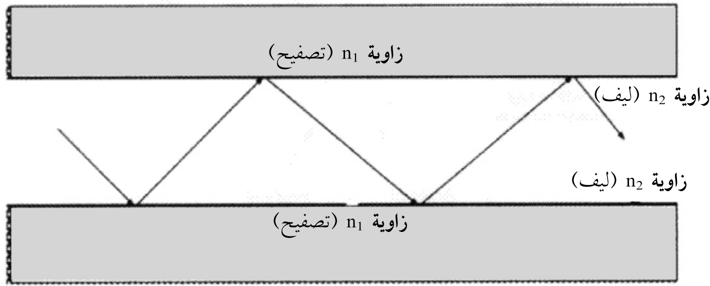
عندما تحصل حالة تكون فيها زاوية الانكسار زاوية قائمة (90 درجة)، فإن جزء فقط من الشعاع المنكسر المتبقي (Residual) ينعكس على طول الحدود بين الوسطين، في حين ينعكس معظم الضوء إلى الداخل. إن زاوية السقوط، لزاوية انكسار من 90 درجة، تسمى بالزاوية الحرجة (Critical Angle). وعندما تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة، ينعكس حينها الشعاع داخلياً بشكل كلي، حيث إنه، وكما هو واضح، من المستحيل أن يخرج الضوء من داخل الزجاج.

تبلغ الزاوية الحرجة لشعاع ضوء خارج من داخل الزجاج ونحو الهواء حوالى 42 درجة.

ملاحظة: يعطي معامل الانكسار العالي للماس زاوية حرجة صغيرة جداً (حوالى 24 درجة). وهذا يعني أن الضوء ينعكس داخل الماسة عدة مرات قبل أن يهرب من جدراها المقطوع جيداً. وعندها يتسرب الضوء في مختلف الاتجاهات. ولهذا تشع الماسة بألوان براقة.

عند تغليف أنابيب الزجاج داخل التصفيح (Cladding) من مادة يقل معامل انكسارها عن معامل انكسار الزجاج بقليل (انظر الشكل 2-10)، فإن الزاوية الحرجة وما يتبعها من خسارة في انتشار الضوء (انظر الشكل 2-14) ستختزل كثيراً. وهذا هو المبدأ الذي يرتكز عليه استخدام الألياف البصرية، والإلكترونيات البصرية عموماً، والذي يعبر عنه بالقواعد الثلاث الآتية:

1 - عندما ينتشر الضوء في زجاج معامل انكساره n، فإنه يتحرك بمعامل مقداره n أبطئ من حركته في الفراغ الحر.



الشكل 2–10 الزاوية الحرجة لأنبوب مصفح بمادة ذات معامل انكسار يقل «بقليل» عن الزاوية الحرجة.

2– إذا كان الضوء الصادر من داخل الزجاج بمعامل انكسار عالٍ وجرى إسقاطه على مادة ذات معامل انكسار منخفض، فإن الضوء يغير اتجاهه شريطة أن يصطدم بالسطح بزاوية سقوط أقل من الزاوية الحرجة وسيحصل عندئذ انعكاس داخلي كلي.

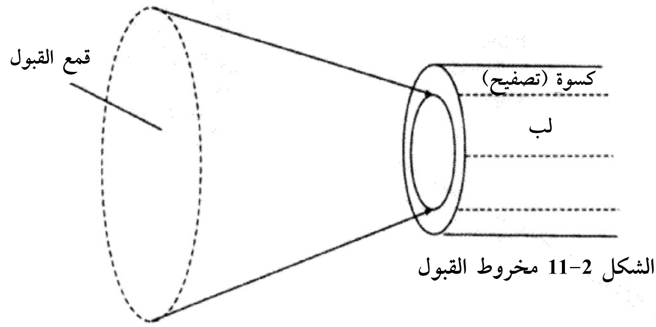
3– عندما يمر شعاع ضوء من الهواء إلى الزجاج، بسبب اختلاف معاملات الانكسار عند نقطة الاختراق، فإن الضوء ينتشر من داخل لب الزجاج بزوايا عديدة. ولذلك يحصل انكسار متغير عند نهاية الطرف ـ التي تسمى أحيانا بالفتحة (Aperture).

لقد تم تعريف الزاوية الحرجة أنها زاوية سقوط توفر زاوية انكسار قائمة (90 درجة).

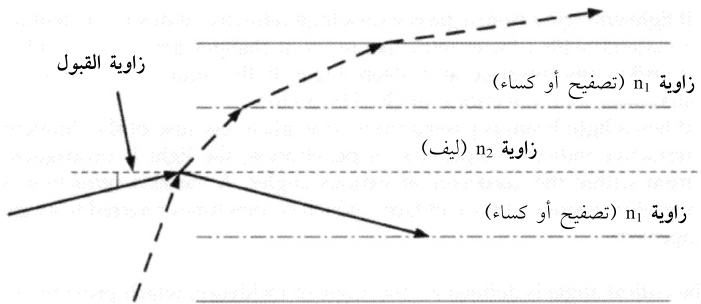
ملاحظة: تعتمد القيمة الحقيقية للزاوية الحرجة على تركيبة المواد الموجودة على جانبي كل حد. وبالنسبة إلى الحدود الموجودة بين الهواء والماء، فإن الزاوية الحرجة هي 48.6 درجة. وبالنسبة إلى الحدود بين زجاج قليل التشتيت والماء، فإن الزاوية الحرجة هي 61.0 درجة .

6-2 مخروط القبول

بما أن الليف دائري الشكل؛ فإن القُمُعْ (أو ما يسمى بمخروط القبول، الشكل 2-11، يحدد زاوية سقوط الضوء الذي ينعكس، بشكل كلي داخلياً، بواسطة المخروط. ورغم أن مخروط القبول الكبير يسمح للألياف بأن تنقل الضوء من حقل أكبر، غير أنه يصاحبها تشتت أكبر. والعكس صحيح، فإن مخروط القبول الضعيف يصاحبه تشتت منخفض، غير أنه يحتاج إلى مصدر ضوء ضيق الحقل أكثر دقة.



الشكل 2-11 مخروط القبول

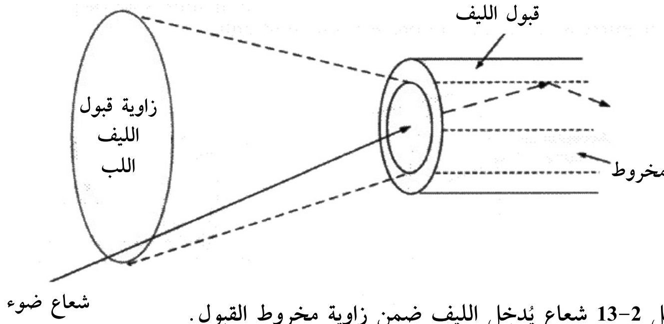


الشكل 2-12 زاوية القبول للضوء الساقط على واجهة نهائية لليف البصري.

2-7 زاوية القبول

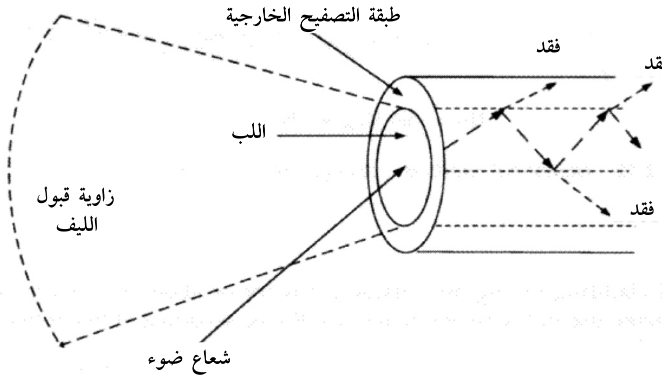
إن زاوية القبول (Acceptance Angle) هي دالةمعاملات انكسار مادة اللب ومادة طبقة التصفيح (Cladding Material) وهي تعرف بأنها نصف زاوية رأس المخروط (Vertex of Cone) تسقط فيها أشعة الواجهة النهائية (End Face) لليف الذي سوف يلتقطها وينشرها (انظر الشكل 2-12).

إن لليف البصري، لباً داخلياً شفافاً، وطبقة تصفيح خارجية رقيقة. وإن ميزة الانعكاس الداخلي الكلي (TIR) تجعل الضوء يَمرّ عبر مادة اللب/ الطبقة الخارجية حيث ينعكس على السطح البيني لطبقة التصفيح الخارجي واللب (الشكل 2-13).



الشكل 2-13 شعاع يُدخِل الليف ضمن زاوية مخروط القبول.

إن معامل انكسار مادة ما هو عبارة عن نسبة سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعة الضوء في تلك المادة. فيكون معامل انكسار الفراغ يُساوي واحداً. وإن نسبة معامل انكسار اللب (Core Index) إلى معامل انكسار التصفيح (Cladding Index) تحدد زاوية القبول. وتحصل خسارة معظم الضوء الذي يدخل الليف بزاوية أكبر من زاوية القبول عبر الطبقة الغشائية الرقيقة، ذَلك أنه لن ينعكس داخلياً (الشكل 2-14).



الشكل 2- 14 شعاع ضوء يدخل ليفاً من خارج نطاق زاوية مخروط القبول

ملاحظة: إن المصطلح الآخر لزاوية القبول هو الفتحة العددية (Numerical Aperture).

2-8 الفتحة العددية

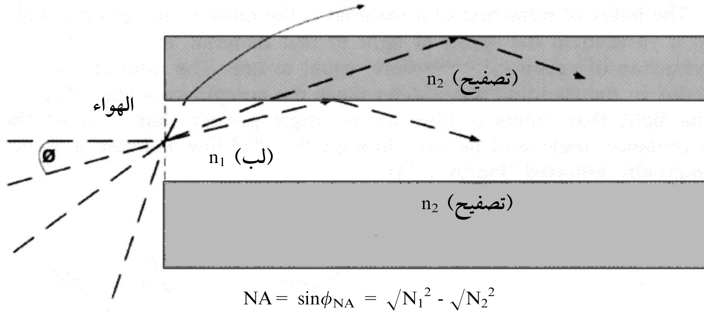
يسمى جيب زاوية القبول بالفتحة العددية لليف البصري. وهذا المصطلح مقتبس عموماً من زاوية القبول، وهو أكثر استخداماً منها.

إن الفتحة العددية (الشكل 2-15) عبارة عن قدرة الليف على تجميع الضوء. ولمواد الفتحة العددية علاقة بمعاملات انكسار الطبقة الخارجية الرقيقة للب. وإن ليفاً ذا قيمة عالية لديه القدرة على حصد الضوء أكثر من ليف ذي قيمة منخفضة، لأن الزاوية الحرجة تكون أكبر، وبهذه الحالة فإن الليف يقبل الضوء المحقون من زوايا أكبر.

2-9 تركيبة الليف

إن الألياف البصرية عبارة عن ألياف زجاجية رقيقة جداً (الشكل 2-16) تَتألف من لب زجاجي قطره خمسون ميكرومتراً تقريباً محاط

بغشاء زجاجي خارجي بصري، فيعطي قطراً خارجياً يبلغ طوله حوالى 120 ميكرومتراً. وَتُستَعمل ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي (انظر الجزء 2-3) لحجز الضوء داخل لب الليف.

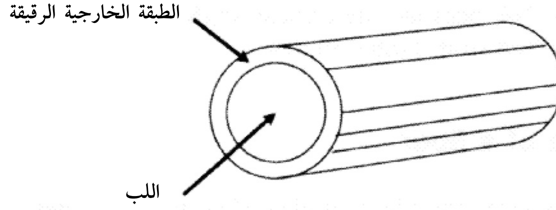


الشكل 2-15 الفتحة العددية (مبدأ العملية).

لقد عُرفت الألياف من خلال أحجامها، فالأحجام: 125/ 8، و125/ 50، و125/ 62.5 هي الأنواع الأكثر استعمالاً. والرقمين الأعلى والأسفل هما لتحديد أبعاد القلب (أي الأرقام 8، 50، 62.5) مقارنة بأبعاد الطبقة الخارجية العازلة، أي (125) وتقاس بالميكرونات.

إن للب معامل انكسار أعلى من معامل انكسار الطبقة الخارجية الرقيقة. وعلى الرغم من أن هذه الطبقة لا تحمل ضوءاً، إلا أنها جزء أساسي من الليف لإنها تحافظ على قيمة الزاوية الحرجة ثابتة على امتداد طول الليف.

بما أن الألياف الضوئية هي أساساً دليل موجي بصري، فإن ذلك يعني أنه لا توجد مشكلة إذا ثُنيَ الليف قليلاً (مثلاً، ضمن بناية) وإن الضوء المحصور في قلب الليف، سيلحق التواءات الألياف. لذلك يمكن استعمال الألياف البصرية لجعل الضوء ينحني حول الزوايا.



الشكل 2–16 تركيبة الليف

2–10 أنماط الليف

على الرغم أنه تصنّع أنواع كثيرة مختلفة من الألياف في أيامنا هذه (انظر الفصل الثالث)، إلا أن هناك نمطين اثنين في نشر الضوء هما:

النمط المفرد ويسمى عادة بالنمط الأساسي (Fundamental) أو الليف البصري الأحادي النمط (Monomode) ويجري استعماله بشكل عام في الاتصالات السلكية واللاسلكية. وأما متعدد الأنماط (Multimode) فهو يستعمل بشكل أساسي في اتصالات البيانات (Data Communication). والفرق بين هذين النوعين هو الحجم النسبي والأداء البصري.

وكما هو واضح من الاسم، فإن الليف أحادي النمط، أو الأساسي، هو الليف البصري الذي يدخل شكلاً ضوئياً واحداً (يستطيع أن ينشر نمطاً ضوئياً واحداً فقط).

غير أن الألياف ذات الأنماط المتعددة يمكن أن تتحمل عدة مئات من الأنماط التي تختلف في سيمائها (Field Pattern) وسرعة انتشارها (Propagation). ويتحدد الحد الأقصى للأنماط (Modes) بقُطر اللب والفتحة العددية للدليل الموجي.

يتحمل، مثلاً، ليف بصري ذو معامل تدرج (Graded Index) ولب قُطره 50 ميكرومتر حوالى 50 نمط لب منفصل، ولكل واحد من هذه الأنماط صفات توهين وانتشار مختلفة.

2-10-1 معامل الإنكسار الخطوي متعدد الأنماط

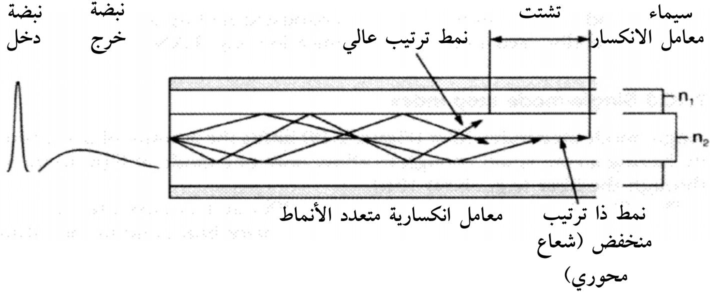
إن ليف معامل الانكسار الخطوي متعدد الأنماط (Multimode Step Index) (الشكل 2-17) هو أبسط أنواع الألياف البصرية، وله لب يتراوح بين 50 ميكرومتراً إلى أكثر من 1000 ميكرومتراً.

يسمح اللب الكبير لهذا الليف بانتشار (Propagation) عدة أنماط ضوئية. وتسلك بعض الأشعة مساراً أطول من تلك الأنماط ذات الترتيب النمطي المنخفض، أي الشعاع المحوري (axial)، عند عبوره مركز الليف وحتى وَصوله إلى الطرف الآخر قبل وصول الأشعة ذات الترتيب النمطي العالي ـ كما إنه يترك وراءه نبضة ضوء ضيقة في أثناء انتقاله عبر الليف. وبتعبير آخر، فإن الضوء الذي يعبر من خلال الليف يأخذ مسالك أطول وأقصر، وبالتالي فإن الضوء يصبح مشتتاً بمرور الوقت تشتتاً شكلياً (modal dispersion)، ما يعوق عرض الموجة لليف وللمسافة التي يمكن لليف أن يصلها بشكل مُرضٍ.

لقد كان ليف المعامل الخطوي متعدد الأنماط (Stepped Index Multimode fiber) أول نوعٍ من الألياف المتوافرة. وله لب ذو معامل انعكاس منتظم (Uniform Reflective Index) (أي إن اللب متساوي الكثافة عبر الليف)، كما إن اللب كبير بما فيه الكفاية لتحمل عدد كبير من الأنماط. وتضم جميع الألياف البلاستيكية ـ تركيبة ليف من زجاج/ بلاستيك وألياف زجاج 140/ 100 وأكبر.

ويستعمل هذا النوع من الألياف عادة في وصلات البيانات

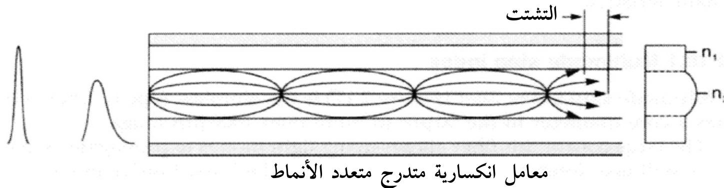
القصيرة (Short Data Links) ودارات التحكم، ولكن ليس في الاتصالات السلكية واللاسلكية.



الشكل 2-17 ليف تأشير انكسار متعدد الأنماط.

2-10-2 ليف معامل الإنكسار المتدرّج متعدد الأنماط

في محاولة للتقليل من التشتت الشكلي جرى إدخال الليف متعدد الأنماط بمعامل انكسار متدرج (الشكل 2-18) حيث يتألف اللب من سلسلة من حلقات محورية كل واحدة منها تكون ذات معامل انكسار منخفض، وبالتالي تؤمن للضوء أن ينتقل بسرعة في وسط ذي معامل منخفض، ويكون الضوء البعيد عن محور الليف أسرع انتقالاً.



الشكل 2-18 ليف متعدد الأنماط بمعامل انكسار متدرج

تضمن الطبقات المختلفة بسبب طريقة الصنع أن لا تنعكس أشعة الضوء بشكل حاد داخل اللب نحو سطح التصفيح، بل تضمن

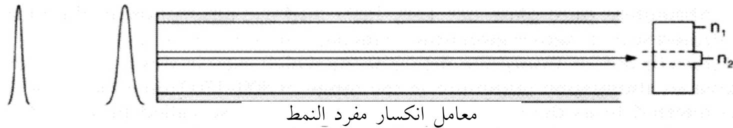
انكسار الضوء بشكل متتابع .وبما أن الأنماط عالية الترتيب لديها معدل سرعة أفضل من المعدل الموجود في الأنماط منخفضة الترتيب، فإن كلا النمطين سيصلان إلى أي نقطة كانت فيه في الوقت نفسه تقريباً. لذلك فإن مسار الانتقال يظهر كَأنه مسار جيبي (Sinusoidal).

إن لدى الليف متعدد الأنماط ذات المعامل المتدرج سعة موجية تصل إلى 1600 ميغاهرتز في الكيلومتر الواحد، وعادة ما يستعمل في الاتصالات المعلوماتية، مثلاً في الشبكات المحلية.

2-10-3 معامل الانكسار الخطوي مفرد النمط

يحد هذا الليف (الشكل 2-19) من كمية التشتت بسبب وجود لب صغير جداً يسمح لنمط واحد من الضوء الانتقال من خلاله (مثلاً 10 ميكرونات).

إن لهذا النوع من الألياف سعة موجية عالية جداً، ويستعمل حالياً في الاتصالات السلكية واللاسلكية، والروابط ذات كثافة الاستعمال العالية على مدى مسافات بعيدة، ومن الممكن أن يستعمل في الاتصالات البيانية في المستقبل (مثلاً، في واجهة الألياف للبيانات الموزعة (Fiber Distributed Data Interface - FDDI).



الشكل 2-19 ليف بمعامل انكسار مفرد النمط

2-11 الفَقْد

ينخفض مستوى الضوء خلال البث بسبب التوهين، والاستقطاب، والتشتت.

2-11-1 التوهين

إن التوهين ناتج من امتصاص الليف الزجاجي لطاقة الضوء، ويعتمد معدل عملية الامتصاص على الطول الموجي للضوء وخصائص الزجاج المستعمل، علماً أن الزجاج مركب من مادة ثاني أكسيد السليكون (SiO_2)، غير أنه بإضافة مواد كيميائية أخرى إلى هذه المادة فإن الخصائص البصرية للزجاج يمكن أن تتغير. مثلاً، بإضافة 4 في المئة من مادة ثاني أكسيد الجرمانيوم يمكن تصنيع زجاج ذي توهين أقل مما في الزجاج الذ أضيف إليه ثاني أكسيد السليكون. وتعرف هذه العملية بتنشيط (Doping) الزجاج، وأما ثاني أكسيد الجرمانيوم فيعرف بالمقوي أو المنشط (Dopant).

يعدّل المُنَشِط طريقة كسر الزجاج للضوء (أي معامل الانكسار)، وبالتالي يحسن قدرة الليف على حمل الضوء. إن امتصاص الليف للضوء ناتج من التغيرات الصغيرة الحاصلة (أقل من عُشر طول الموجة) في كثافة أو تركيبة الزجاج. ويسمى هذا باستطارة رايليه (Rayleigh Scatter). وهذه هي الميزة البصرية نفسها التي تجعل لون السماء أزرقاً. (انظر الجزء 1-4-5 والشكل 1-27).

إن توهين الليف محكوم بالمواد التي صُنع منها هذا الليف وعملية التصنيع، ولا سيّما معامل الانكسار الذي جرى اختياره. وتقاس خسارة التوهين بالدسيبل في الكيلومتر (dB/km).

2-11-2 الامتصاص

ينتج الامتصاص من شوائب في الزجاج، ويعني تحول الطاقة

البصرية إلى نشاط إلكترو - بصري أو اهتزازات في الجزيئيات. وعلى الرغم من أن ألياف الزجاج نقية جداً (ونقاوتها تتخطى تلك لدى أشباه الموصلات) ولكن يبقى وجود لبعض الشوائب كبقايا مترسبات بعد التنقية. وتعتمد كمية امتصاص هذه الشوائب على تركيز وجودها والطول الموجي للضوء.

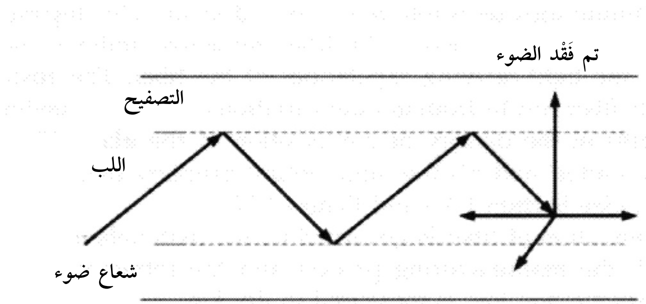
إن للزجاج المنقّى درجة امتصاص ذاتي متدنية قرب منطقة الطول الموجي للأشعة تحت الحمراء (بسبب تركيبة القاعدة الأساس). غير أنه يبقى لهذا الزجاج آليتين لامتصاص الضوء في هذه المنطقة وينتج منهما حد أدنى من التوهين ضمن نطاق الـ 800 والـ 1700 نانومتر. وتدعى إحدى هاتين العمليتين حافة امتصاص الأشعة فوق البنفسجية، وسمّيت كذلك لأنها تشكلت عند الطرف النهائي لمجموعة ذروات امتصاص مركزها في منطقة الأشعة فوق البنفسجية) حيث إن البث الإلكتروني المُحفّز بطاقة عالية هو الذي يسبب عملية الامتصاص الذاتي.

وتقع حزم الامتصاص أيضاً في منطقة الأشعة تحت الحمراء وما بعدها. وتمتد ذيول هذه الحزم إلى ما قبل منطقة الأشعة تحت الحمراء. وتتكون هذه الأحزمة نتيجة الاهتزازات الجزيئية التي تحصل داخل الزجاج.

2-11-3 الاستطارة

إن التبعثر أو الاستطارة (Scattering) (الشكل 2-20) ناتج عن شوائب في الألياف وإلى التركيبة الأساسية لليف. إن استطارة رايليه (Rayleigh Scattering) ناتجة من البنى الذرية الجزيئية للزجاج، ومن كثافة وتنوع اَلتركيبات الكيميائية الطبيعية (أي غير المتعمدة) التي تنتج عرضياً خلال تصنيع الليف وخلال تمديد الأسلاك.

تتغير زاوية سقوط الأشعة التي تصطدم بمواد كهذه في سطح اللب والتصفيح بشكل كلي مما بسبب انكسار بعض الأشعة نحو مسالك غير خاضعة لظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي.



الشكل 2-20 التبعثر أو الاستطارة

بشكل عام، إن لم تُستعمل مصادر ضوئية عالية الطاقة، فإن التوهين الناتج من عملية الاستطارة هي عملية خطية (Linear)، أي إن عملية الاستطارة لا ينتج منها إزاحة للتردد. وهناك نوعان أساسيان من عملية الاستطارة، أهمها استطارة رايليه واستطارة ميي (Mie Scattering).

2-11-3-1 استطارة رايليه

يعود سبب هذه الاستطارة إلى عدم تجانس الزجاج (أي وجود مناطق في الزجاج تختلف قليلاً في الكثافة أو التركيبة الكيميائية)، ما يسبب تقلبات في معامل الانكسار.

وتحصل هذه الاختلافات التركيبية خلال عملية التصنيع. أما الاستطارة اللاحقة الناتجة من تغيرات في الكثافة والمعامل، فإنها متعددة الاتجاهات وتسبب زيادة في التوهين. وتتناسب هذه الحالة عكسياً مع الأس الرابع لطول الموجة. كما إن عدم التجانس أصغر حجماً من الطول الموجي للضوء بكثير.

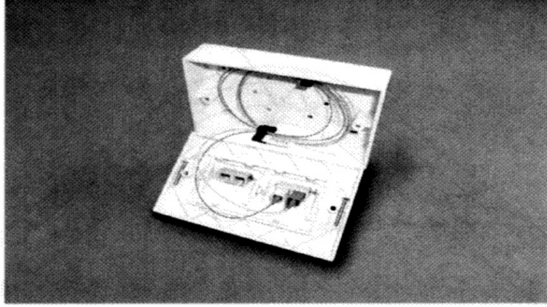
2-11-3-2 استطارة ميي

تظهر الاستطارة الخطية في مناطق انعدام التجانس وتظهر بسبب تشوهات في هندسة الليف، وعدم انتظام معامل الانكسار، ووجود فقاعات... إلخ تظهر خلال عملية التصنيع. إلا أن عملية التصنيع الدقيقة يمكن أن تقلل من نسبة حدوث استطارة ميي بنسبة كبيرة جداً.

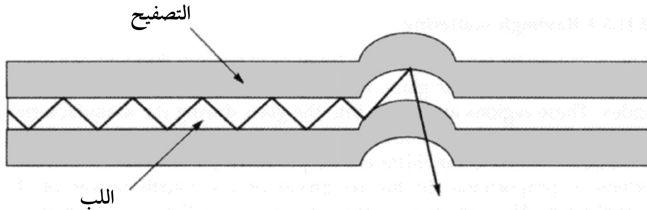
2-11-4 فقد الالتواء

يُطلق على الخسارة في شدة الضوء بسبب الانحناءات والتغيرات الحادة في نصف قُطر انحناء الشعاع «بالفقد» بسبب الالتواء أو الانحناء.

ولذلك يجب أخذ الحذر عند تركيب وتوصيل الألياف (وإلا سيتأثر توهين الليف بشكل كبير). وسيكتشف عند التوصيل أن الألياف تكون عادة مفتولة داخل علبة التوصيل (الشكل 2-21).



الشكل 2-21 لوحة وصل ليف بصري نموذجية (تقدمة BICC Braud-Rex)



الشكل 2-22 الانحناء أو الالتواء الفائق الصغر (الميكروي)

ومثال على ذلك، يلوي الليف مفرد النمط الليف إلى قُطر الالتواء بحد أدنى مقداره 50 ملم، وذلك لضمانة أن الأداء لن يتأثر عند 1550 نانومتر بسبب الفقد الناتج من الالتواءات الكبيرة (Macrobendings).

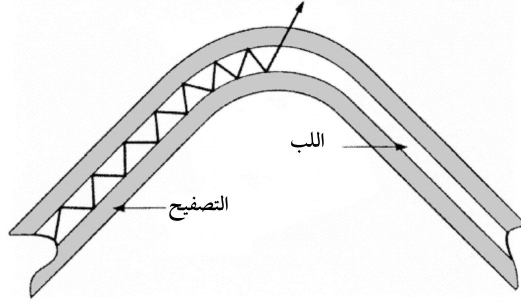
2-11-4-1 الالتواء الفائق الصغر (الميكروي)

يسبب هذا الالتواء (الشكل 2-22) فقد أو تشويش على نطاق صغير. إن الانحناء الفعلي قد لا يكون ظاهراً، ويمكن للفقد أن يكون بسبب الحرارة، أو بسبب جهد الشد أو بسبب السحق. غير أنه يمكن تقليل الفقد عندما يجري التخلص من المسبّبات. وقد ينتج من تأثير الالتواءات فائقة الصغر في الألياف متعددة الأنماط مشاكل كازدياد التوهين (الذي لا يعتمد على الطول الموجي) وصولاً إلى سلسلة من الذروات الدورية (Periodic peaks) في مناطق انخفاض الضغط (Troughs) على منحنى التوهين الطيفي (Spectral Attenuation Curve).

2-11-4-2 الإلتواء الكبير الحجم (الماكروي)

يختلف التغير في التوهين الطيفي (Spectral Attenuation) الناتج من الانحناءات الكبيرة الحجم (الشكل 2-23) قليلاً عن التغيير في الالتواءات فائقة الصغر، ولا توجد هناك ذروات دورية ومناطق منخفضة الضغط وذلك لأن الضوء، عند حصول التواء كبير الحجم، لا يعاد إقرانه نحو اللب من الطبقة الخارجية الرقيقة، كما يحدث في حالة الالتواء فائق الصغر. وتعتمد الخسارة بسبب الالتواء كبير الحجم كثيراً على الطول الموجي وهي خسارة سببها الالتواء على مقياس كبير لليف. علماً بأنه من الممكن عكس هذه الخسارة عندما يتم تقويم الانحناءات، وبإمكان عمّال التركيب أن يُقلّصوا التأثير خلال

عملية التركيب والاختبار بعدم جعل الليف ملتوياً لفترة طويلة من الوقت.



الشكل 2-23 الالتواء الماكروي (الكبير)

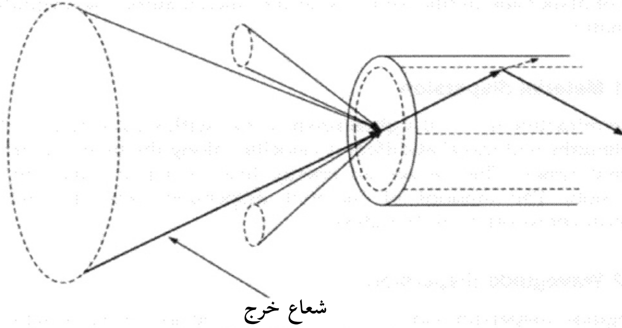
2-12 القدرة البصرية وكثافة القدرة

يسمى السطح الذي ينبعث منه ضوء منتشر بشكل موحد بمصدر لامبرتون (Lamberton Source) وعندما يبعث السطح طاقة مشعة (Radiating Power)، يمكن التعبير عن كثافة القدرة (Power Density) عند أي نقطة على السطح المشع بالطاقة لكل وحدة مساحة (Power per Unit Area) وتقاس (بالواط لكل سنتمتر مربع). ويسمى هذا الضوء بإشعاع المصدر ويكوّن توزعه على السطح نمطاً إشعاعياً في الحقل القريب.

تقل كثافة القدرة حسب بُعد المصدر حتى تصبح بمرور الوقت شبه معدومة. ويعبّر عن كثافة هذه القدرة المشعة بأنها إشعاع من المصدر، وتسمى وحدة القياس التي تقيس صفات الإلكترونيات البصرية المشعة ستيراديان (Steradian) أو وحدة القياس الزاوي. وتسمى القدرة التي تشع باتجاه معين بالكثافة المشعة (Radiant Intensity) للمصدر ويشكّل توزّع هذه الأشعة نمطاً إشعاعياً في الحقل البعيد.

2-13 قدرة دخل الليف البصري

إذا كان مصدر مشع كبير مثل الصمام الثنائي الباعث للضوء قريب جداً من سطح طرف الليف (الشكل 2-24)، تستقبل كل نقطة على سطح هذا الطرف القدرة الساقطة (Incident Power) التي تقع ضمن قُمع القبول (Acceptance Cone) الحاصل الكلي لكل هذه القدرة التزايدية (Incremental Power) والتي ينتج منها حاصل مجموع قدرة الدخل (Total Input Power).

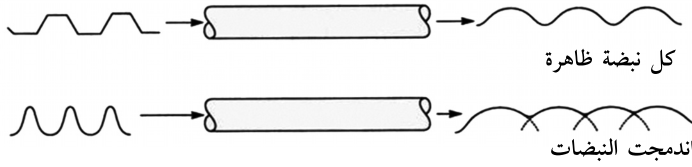


الشكل 2-24 تستقبل كل نقطة في الطرف النهائي لليف قدرة سقوط تقع ضمن حدود مخروط قبولها.

2-14 فقد التشتت

ينتج التشتت (Dispersion)، أو انتشار النبضات الضوئية خلال الانتقال عبر الليف من عاملين. **أولاً**، المدى الواسع للطول الموجي المنبعث من المصدر الضوئي، **وثانياً**، كمية تشتت الطول الموجي الموجود في الليف. وتصبح النبضة الضوئية القصيرة نبضة طويلة تدريجياً بما فيه الكفاية، لكي تستطيع النبضة التالية اللحاق بها.

ويقوّض هذا الأمر السعة الموجية لليف، وبالتالي تكون النبضة التي يجري استقبالها عند خرج الليف أعرض من النبضة عند دخله (الشكل 2-25).



الشكل 2-25 التشتت

من أجل تجاوز هذه المشكلة، يجب أن يكون معدل النبضات بطيئاً بما فيه الكفاية لدرجة أن لا يسمح للتشتت بأن يؤثر في النبضات الملاصقة لبعضها بعضاً ويجعلها تتداخل. ويجب على المكشاف (Detector) أن يكون قادراً على التفريق بين كل نبضة. وإن أهم أنواع التشتت في أسلاك الألياف البصرية هو التشتت المادي، والدليل الموجي، والتشتت اللوني.

2-14-1 التشتت المادي

بما أن معامل الانكسار لزجاج الموشور يختلف بحسب الطول الموجي، فإن الأطوال الموجية المختلفة تنتقل بسرعات مختلفة على طول الليف وتصل في أوقات مختلفة. ويُسبب هذا الأمر خسارة في القدرة، ويدعى بالتشتت المادي. وتعتمد كمية التشتت المادي على التركيبة الكيميائية للزجاج.

2-14-2 تشتت الدليل الموجي

يمكن وصف تشتت الدليل الموجي بأنه طريقة يؤثر فيها معامل الانكسار على العلاقة بين ثابت الانتقال (Propagation Constant) والطول الموجي. وبما أن التردد (Frequency) هو عبارة عن تكرار

طول موجي، فإن السرعة الكلية للقدرة في الليف ستختلف مع التردد، ويولِّد هذا مزيداً من فقد يسمى بتشتت الدليل الموجي (Waveguide Dispersion)، وهو ينشأ من توزع الضوء بين الحاوية والطبقة الخارجية.

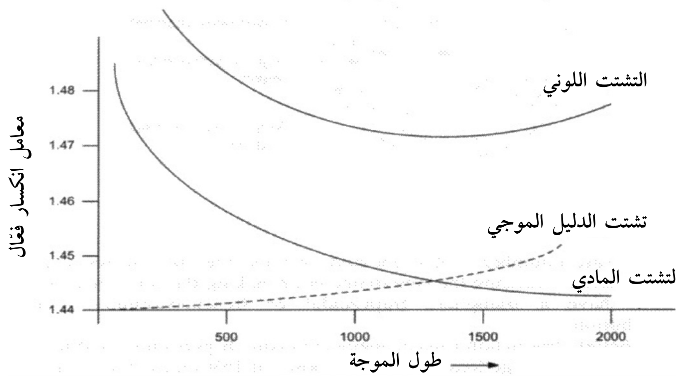
ويحصل تشتت الدليل الموجي لأن ثابت الانتقال يتغير مع تغير الطول الموجي. ولا علاقة لهذه الأسباب بالتشتت المادي.

2-14-3 التشتت اللوني

يسمى المزج بين التشتت المادي (Material Dispersion) وتشتت الدليل الموجي (Waveguide Dispersion) بالتشتت اللوني (ويسمى أحياناً بتشتت الطول الموجي Wavelength Dispersion).

وتؤثر هاتان الخسارتان بشكل أساسي في العرض الطيفي للمُرسل، وفي اختيار الطول الموجي الصحيح.

وبما أن الضوء الصادر عن الصمام الثنائي الباعث للضوء (LED) الأحمر يعطي حزمة موجية (Wave Band) يبلغ حجمها حوالى 40 نانومتر بين 780 نانومتر و820 نانومتر فهو عكس الصمام الثنائي الليزري (Laser Diode) المعاصر الذي لديه عرض طيفي (Spectral Width) أقل من نانومتر واحد. ويعتبر اختيار جهاز الإرسال إحدى الطرق الأساسية لتقليص العرض الطيفي. وكذلك فإن اختيار الطول الموجي الصحيح مهم جداً. يظهر الشكل 2-26 تأثير التشتت اللوني، والمادي، والدليل الموجي من خلال الرسم البياني الذي يُظهر التباين بين «معامل الانكسار المؤثر» (Effective Refractive Index) مقارنة بالطول الموجي.



الشكل 2-26 يظهر الرسم البياني «لمعامل الانكسار المؤثر» لليف البصري مقارنة بالطول الموجي التشتت اللوني والمادي والدليل الموجي.

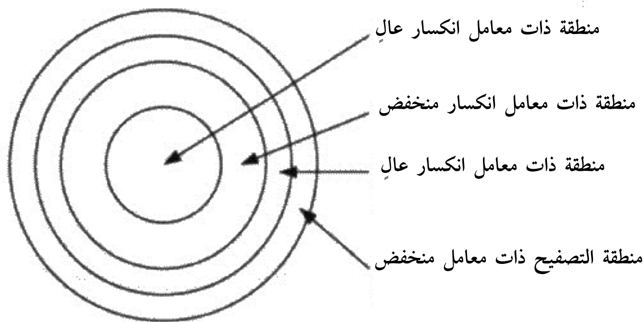
يتغير تأثير التشتت المادي وتشتت الدليل الموجي بشكل معاكس الاتجاه لتزايد الطول الموجي، ولكن هناك طولاً موجياً مثالياً يكون عند 1300 نانومتر، حيث إن التأثيرين يلغيان بعضهما تقريبياً، ويكون التشتت اللوني عند أدنى مستوى له. ولذلك يكون التوهين عند أدنى حد أيضاً، ما يجعل الـ 1300 نانومتر من الأطوال الموجية الأكثر طلباً للاستعمال، ونقطة محتملة لزيادة طول مسار الانتقال (Propagation Path Length) لمئات الكيلومترات.

ومن الممكن من خلال زيادة تشتت الدليل الموجي لدرجة يلغي التشتت المادي أن نزيح كذلك طول الموجة عديمة التشتت (Zero Dispersion Wavelength) نحو 1550 نانومتر ليصبح الفقد أقل ما يمكن.

2-14-4-1 الليف ذو «التشتت المُزاح»

أدخلت شركة كورنينغ (Corning) أول ليف ذا «تشتت مزاح» تجاري (الشكل 2-27) في عام 1986. وهذا الليف ذو لب مجزّء

تكون فيه المنطقة الداخلية ذات معامل عالٍ ومحاطة بمنطقة ذات معامل منخفض، ومن ثم بمنطقة ذات معامل انكسار عالٍ، وأخيراً طبقة خارجيةً للتصفيح ذات معامل منخفض.



الشكل 2-27 ليف ذو «تشتت مزاح»

هناك عدد آخر من الطرق تحقق النتيجة نفسها، وتتضمن تقليص قُطر اللب أو جعل معامل انكسار اللب ذا توزيع شعاعي LEGE (Triangular)، أو شبه منحرف (Trapezoidal)، أو حلقي محدب (Trenched-Annular).

ومع أن الإجراءات الضرورية لتصنيع مجموعة من الألياف ذات لب مجزّء وتشتيت مزاح، أظهرت أن معدل الخسارة يكون 0.21 دسيبل في الكيلومتر الواحد عند منطقة الـ 1550 نانومتر. وإن الكلفة الأولية لليف ذي «تشتت مزاح» مستعمل، أعلى من كلفة ليف تأشير الانكسار النموذجي، إلا أن هذا الفرق تقلص عندما ازداد حجم التصنيع.

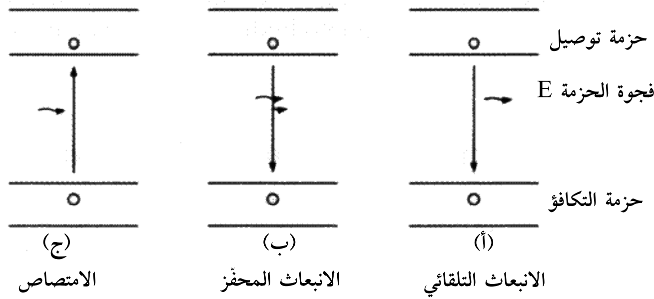
2-15 الانتقالات الضوئية في أشباه الموصلات

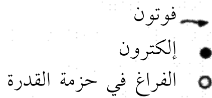
تتكوّن البنى الأساسية لأشباه الموصلات من نطاقي قدرة إلكترونية (التكافؤ Valence والموصلية Conduction) مفصولين عن

بعضهما البعض بفجوة رابطة E. ويعتبر التفاعل بين الفوتونات (أي الدقائق الضوئية) ونطاق التكافؤ/ التوصيل الإلكتروني المبدأ الأساسي الذي بُنيت عليه كل أشباه الموصلات الإلكترونية البصرية.

2-15-1 آلية الانتقال الضوئي عبر أشباه الموصلات

هناك ثلاث آليات لانتقال كهذا وهي: الانبعاث التلقائي، والانبعاث المُحفّز، والامتصاص. وهذه الآليات مُفصَّلة في الشكل 2-28.





الشكل 2-28 آلية الانتقال في أشباه الموصلات.

عندما يكون لدى حزمة التوصيل كثير من الإلكترونات، تنتقل هذه الإلكترونات إلى الحالة الحرة (الثقوب، أي الفراغ قي حزمة القدرة) في حزمة التكافؤ. وينتج من ذلك تركيبة إشعاعية جديدة لناقلات الشحنات الكهربائية الفائضة. وينبعث الفوتون (P) عفوياً، إذ إن طاقته تتناسب طردياً مع التردد والطول الموجي. ولذلك فهو يعتمد على حجم فجوة الحزمة (E) (الشكل 2-28 أ). ويسمى هذا بالانبعاث التلقائي، أو التألق (Luminescence).

تشغل كل حزمة مجال من قيم القدرة، ما يعني أنه يمكن للطول الموجي أن يتغير من فوتون إلى آخر، وبالتالي تؤمن سعة موجية للانبعاث الكلي.

أما بالنسبة إلى (الجرمانيوم) و(السليكون)، فإن الانبعاث في مدى القدرات المكافئة للقيم الممنوعة هو الانبعاث نفسه في منطقة الأشعة تحت الحمراء البعيدة أو حزمة الدفق الحراي (Heat Band). غير أن بعض المركبات الكيميائية من المجموعة الثالثة (III) والمجموعة الخامسة (V) من الجدول الدوري للعناصر تستطيع أن تنتج انبعاثاً مرئياً أو قريباً من أطوال موجة الأشعة تحت الحمراء.

وتحفّز الفوتونات الناقلات الفائضة لشحنات الانبعاث المشعّ، ولذلك تنبعث فوتونات إضافية، ولهذا السبب تسمى هذه العملية بالانبعاث المحفّز (الشكل 2-28 ب).

وتظهر الآلية الضوئية الثالثة عندما يتم أخذ إلكترون من حزمة التكافؤ إلى حالة عالية من القدرة أو من حزمة التوصيل، وبذلك يتغلب الإلكترون على الفوتون. وتسمى هذه بعملية الامتصاص (الشكل 2-28 ج).

وعلى الرغم من تزامن كلٍ من الامتصاص، والانبعاث العفوي، والانبعاث المحفز، إلا أن آلية انبعاث واحدة فقط تكون مهيمنة.

إذا وُضع شبه الموصل في حالة الانحياز الأمامي (Forward Biasing)، ستعمل الوصلة الموجبة ـ السالبة (P-N junction)، بطريقة مماثلة لعمل الترانزستور (Transistor)، وتؤدي إلى تحرك ناقلات الشحنة الكهربائية من جهة واحدة من الوصلة إلى جهة أخرى، كحاملات أقلية حمل التيار المقاس (Minority Carriers)، حيث يعاد اتحادها مع الناقلات الرئيسة (Majority Carriers). وتسمى ظاهرة

انبعاث الضوء هذه بعد عملية الانحياز الأمامي (Forward Biasing) بظاهرة الحقن الضوئي (Injection Luminance). والأجهزة التي تحدث هذا التفاعل هي الصمامات الثنائية الباعثة للضوء أو الصمامات الثنائية الليزرية. وأما في حالة الانحياز العكسي (Reverse Bias)، فإن الأجهزة التي تحدث هذا التفاعل هي الصمامات الثنائية فقط.

2-16 السعة الموجية المستعملة في أنظمة البث الإلكترونية البصرية

إن السعة الموجية هي قدرة الليف على حمل المعلومات وتقاس بالميغاهرتز في الكيلومتر الواحد. وكلما ازدادت قيمة السعة ازداد معها معدل إرسال المعلومات.

ويجب أولاً من أجل نقل موجة رقمية عبر نظام تخابر صوتي عادي تحويل الموجة إلى إشارة تقع في قناة مكالمة ذات تردد يتراوح بين 300 و3400 ميغاهرتز. ويمكن القيام بذلك من خلال استعمال أداة (التضمين/ إزالة التضمين) لناقل إشارات رقمية، أي «المودم»، اختصاراً للمصطلح الإنجليزي (Modem - Modulator/Demodulator) والموصول بين المحطة وخط الهاتف. ويصل إرسال المعلومات على معدل بت 2.4 كيلو بت في الثانية الواحدة. ويعد ذلك طبيعياً بسبب القيود التي تفرضها قناة التخابر العادية الهاتفية (مثل التشويش، والضجيج، والمستلزمات المطلوبة لمنع تداخل الأقنية المتلاصقة). وبالطبع، باستعمال نوعية عالية الجودة من الأسلاك الخاصة أو استعمال دارة رباعية الأسلاك يرتفع المعدل إلى 9.6 كيلوبت في الثانية، وفي حالات استثنائية يمكن أن يصل المعدل إلى 19.2 كيلوبت في الثانية. ويعتمد ذلك على معدل الأخطاء في البت (أي

عدد البتات الخطأ بالنسبة إلى العدد الكلي للبتات في الدفق الرقمي للمعلومات). إن معدل أخطاء البت تعرف كمقياس لجودة أنظمة الإرسال، وتتراوح القيمة النموذجية ما بين واحد في كل 10^9 وواحد في كل 10^{13}.

وفي الاتصالات الرقمية، تستعمل قناة التخاطب قناة معلومات تصل سرعتها إلى 64 كيلوبت في الثانية. ومن أجل تضمين الشيفرة بالنبض بشكل جيد، تحتاج قناة التخاطب إلى سرعة تساوي 64 كيلوبايت في الثانية (يحتاج تضمين الدلتا إلى 16 كيلوبت في الثانية فقط. وأما التحليل الرقمي فيحتاج إلى 2.4 كيلوبت في الثانية). إن كل هذه الحدود مغطاة في نظام الإشارات بتوصية من لجنة التلغراف والهاتف الاستشارية العالمية (CCITT) التي تنص على أنه يجب إرسال الإشارات الرقمية عبر مجرى تصل سرعته 2 ميغابت في الثانية الواحدة (أي 2.48 كيلوبت في الثانية)، مقسمة إلى 32 قناة اتصال، تصل سرعة كل واحدة منها 64 كيلوبت في الثانية.

وبأخذ الكمية المقبولة من فقدان قدرة الصوت بعين الاعتبار، فإنه بالإمكان تقليص السرعة لتصبح 48 كيلوبت في الثانية الواحدة، ما يسمح بإرسال معلومات بحجم 16 كيلوبت في الثانية بشكل متزامن.

وتحقق مراكز البحوث بإمكانية استعمال قنوات سرعتها 144 كيلوبت في الثانية الواحدة للسماح بإرسال عدد من قنوات التخاطب والمعلومات بشكل متزامن، ما سيوفر الآتي:

- قناتي تخاطب حجم الواحدة منها 64 كيلوبت في الثانية الواحدة.
- قناة معلومات ذات حجم 8 كيلوبت في الثانية الواحدة.
- قناة معلومات ذات سرعة عالية ذات حجم 8 كيلوبت في الثانية الواحدة.

حالياً، تقدم خدمات الهاتف والبريد والبرق كثير من عروضات الخدمات الرقمية عالمياً وخدمات متوفرة ذات سعة موجية تتراوح بين 64 كيلوبت في الثانية الواحدة و2.04 ميغابت في الثانية. وتتوافر في بعض الأحيان (حسب البلد) سرعات أعلى.

2–16–1 ذبذبة الإنقطاع لليف البصري

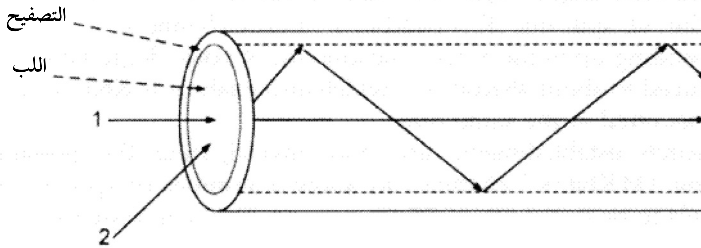
تُحدد ذبذبة انقطاع (Cut-Off Fequency) الليف البصري بسبب كمية التشتت المادي (يكون التشتت الشكلي في الألياف متعددة الأنماط عادة، أما تشتت الدليل الموجي فهو في الألياف مفردة النمط) الناتج من العرض الطيفي (Spectral Width) في جهاز الإرسال.

2–16–2 السعة الموجية لليف

يظهر الشكل 2–29 شعاعاً ضوئياً يدخل إلى الليف بزاوية صغيرة (1). ولدى هذا الشعاع مسار أقصر عبر الليف، على عكس الضوء الذي يدخل الليف بزاوية قريبة من الحد الأقصى لزاوية القبول (2).

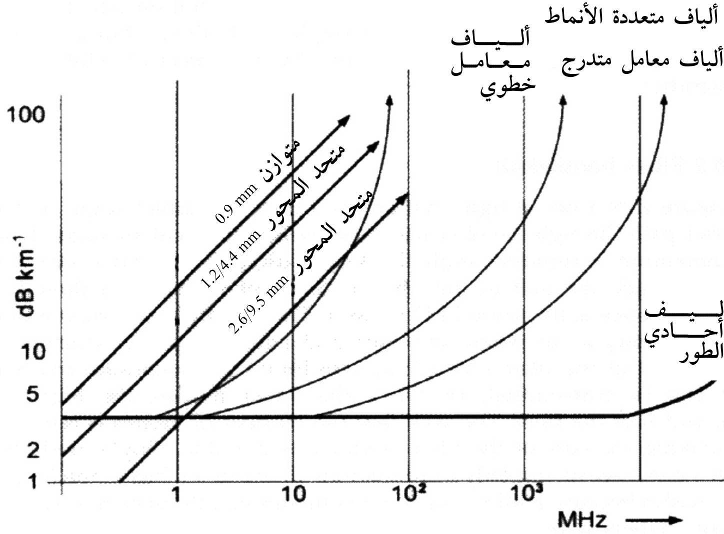
ونتيجة ذلك تصل الأشعة أو الأنماط الضوئية المختلفة إلى نهاية الليف بأوقات مختلفة، على الرغم من أن المصدر الأصلي هو الصمام الثنائي الباعث للضوء أو الليزر نفسه. ويؤدي هذا إلى عدم معرفة أين ستظهر وتنتهي النبضة عند خرج الليف ـ ما يحد من كمية التردد الأقصى الذي يمكن إرساله. وباختصار، فكلما قلّت الأنماط ازدادت السعة الموجية لليف. والطريقة الوحيدة لتقليص الأنماط هو جعل حجم قلب الليف أصغر ما يمكن. إن لدى لب الليف مفرد النمط ذو قُطر يتراوح بين 8 و10 ميكرونات سعة موجية عالية، وذلك

لأنه يسمح لعدد قليل من الأنماط الضوئية بالعبور من خلاله. وتسمح الألياف ذات اللب الأعرض قطراً، أي بقُطر يبلغ 50 و62,5 ميكرون، بانتقال عدد أكبر من الأنماط من خلالها، ولذلك تسمى بالألياف متعددة الأنماط.



الشكل 2–29 تحدد الأطوال المختلفة للمسارات السعة الموجية.

يسمى التردد الذي يزداد فيه توهين الإشارة بقيمة 3 دسيبل، بسعة موجة الليف. وبما أن السعة الموجية لدليل الموجة البصرية تكون متعاكسة أو متبادلة بشكل فرضي لطولها، فإن طول السعة الموجية الناتج، يدل على خاصية جودة الليف. ويظهر الشكل 2–30 رد فعل التردد (Frequency Response) لأنواع مختلفة من الألياف يبلغ طولها كيلومتر واحد مقارنة بأسلاك نحاسية متوازية وأسلاك متحدة المحور يبلغ طولها كيلومتر واحد. ويجب ملاحظة أن رد فعل التردد الثابت نسبياً لليف البصري يلغي الحاجة إلى عملية التعادل (Equalization) الضرورية في الأنظمة التي تتألف من الأسلاك متحدة المحور. وبسبب التشتت المادي في الألياف ذات الطول الذي يتعدى الكيلومتر الواحد، فإن ذبذبة الانقطاع تعتمد على المواد المستعملة وعلى عدد الوصلات.



الشكل 2–30 مقارنة بين تجاوب تردد الألياف البصرية وتجاوب الأسلاك النحاسية.

2–17 تضمين وإزالة التضمين للناقل الثانوي

يتضمن مبدأ الإرسال عبر سلك نحاسي يعتمد على تضمين المذبذب (Oscillator) من قبل إشارة المعلومات في التردد، سواء كان تضميناً طورياً أو تضميناً لسعة الموجة. ومن ثم يقوم جهاز الكاشف عند الطرف الآخر بإزالة التضمين عن الإشارة.

2–17–1 تقنيات التضمين

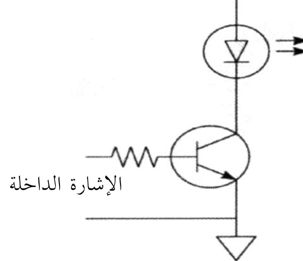
كما سبق وذكرنا، فإن الصمامات الثنائية الباعثة للضوء والليزر، جرى تضمينها بإحدى الطريقتين. إما من خلال التضمين عبر التحكم بالفتح والإغلاق (On/Off Modulation) أو التضمين الخطي (Linear).

2–17–1–1 التضمين عبر الفتح والإغلاق

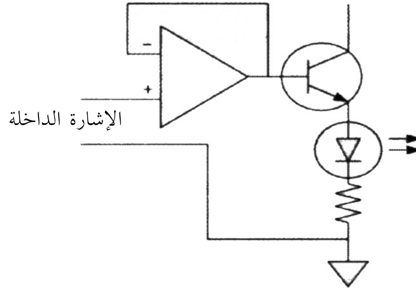
كما هو ظاهر في الشكل 2–31، يستعمل الترانزستور لفتح أو إغلاق الصمام الثنائي الباعث للضوء أو الليزر بالتزامن مع إشارة

الدخول الرقمية. ويمكن تحويل هذه الإشارة من أي مقياس رقمي تقريباً باستعمال الدارة الملائمة، وتحويلها إلى محرك ملائم للمنطقة التي تقع بين البث وجمع الترانزستور (Base Drive).

ويمكن للتضمين الرقمي عبر الفتح والإغلاق، أن يأخذ أشكالاً عديدة. وأبسطها فتح الضوء للرقم الثنائي (1)، وإغلاق الضوء للرقم الثنائي (0). كما إن هناك طريقتين معروفتين للتضمين وهما، تضمين عرض النبضة (Pulse Width Modulation) وتضمين معدل النبضة (Pulse Rate Modulation). إن في تضمين عرض النبضة، تدفق ثابت للنبضات يجري إنتاجه بعرض واحد يمثل الرقم الثنائي (1)، وإغلاق الضوء للرقم الثنائي (0). أما في تضمين معدل النبضة، فإن عرض النبضات متساوية، إلا أن معدلها يتغير، وذلك للتفريق بين الرقم الثنائي (1)، وإغلاق الضوء للرقم الثنائي (0).



الشكل 2-31 تضمين الصمام الثنائي الباعث للضوء والليزر عبر الفتح والإغلاق.



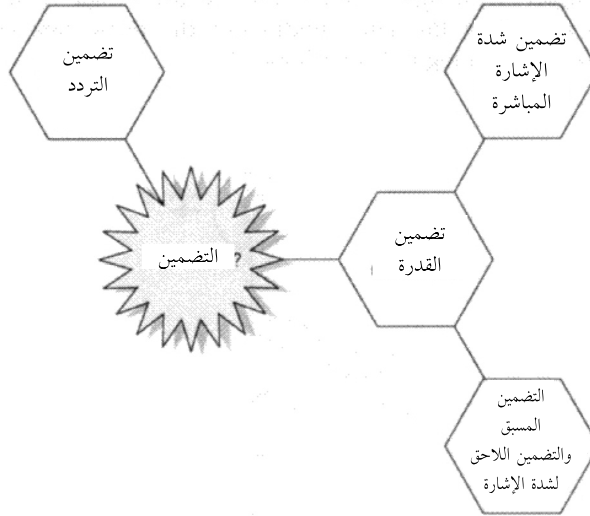
الشكل 2-32 التضمين الخطي للصمام الثنائي الباعث للضوء أو الليزر.

2-17-1-2 التضمين الخطي

يتحقق التضمين الخطي (linear Modulation) للصمام الثنائي الباعث للضوء أو الليزر باستعمال دارة التضخيم في الشكل 2-32. وتستعمل الإشارة العاكسة المدخلة إلى الدارة لتزويد الصمام الثنائي الباعث للضوء أو الليزر بمحرك تضمين. وأما الإشارة غير العاكسة المدخلة إلى الدارة، فتعطي مرجعاً لتعديل التيار المباشر.

2-17-2 أنواع التضمين

هناك نوعان أساسيان من التضمين كما هو ظاهر في الشكل 2-33.



الشكل 2-33 أنواع التضمين وإزالة التضمين

ملاحظة: تعتمد طرق الإرسال المستخدمة في الإلكترونيات البصرية بشكل أساسي على ما إذا كانت الإشارة تناظرية أو رقمية، وبما أننا أشرنا إلى هذه الملاحظة، فإن مبادىء الإرسال هي نفسها.

2-17-2-1 تضمين التردد

إن بالإمكان تقديم ناقل ثانوي كهربائي ذي تردد مُضَمّن بشكل مناسب إذا كانت السعة لمسلك الإرسال في الإلكترونيات البصرية أعلى من الإشارة المرسلة. ويمكن إيجاد قناة إرسال تماثلية (Analog) تكون مناسبة لإرسال الصور المتحركة أو الفيديو (Video) والإشارات المضاعفة بتقسيم التردد (Frequency Division Multiplexing) من خلال تضمين الناقل الثانوي.

وبالإمكان كذلك دمج كثير من الإشارات التناظرية، مثلاً قنوات الفيديو التي يمكن استعمالها لتضمين تردد الناقل الثانوي الكهربائي. غير أنه بإمكان هذه الطريقة أن تقلص المدى الحركي للقنوات. وأما الطريقة المثلى، فهي تضمين تردد عدد من الناقلات مع إشارة الفيديو، ومن ثم مضاعفة هذه الناقلات المضمنة على أساس تقسيم التردد.

2-17-2-2 تضمين شدة (قدرة) الإضاءة

لأن عرض طيف الضوء المنبعث و(إلى حد أقل) الصمامات الثنائية الليزرية عالٍ جداً وثبات التردد منخفض جداً، فإن تضمين التردد والطور للمرسِلات الضوئية يكون شبه مستحيل. وتعود إحدى المساوئ المصاحبة لليف نفسه إلى خصائص الإرسال متعدد المسالك لألياف دليل الانكسار الخطوي والألياف متعددة الأنماط بمعامل انكسار متدرج، إذ إن الإشارة تصبح مشوشة بشكل كبير. ولذلك، فإن التضمين الوحيد الأكثر فعالية الذي يمكن استعماله في أيامنا هذه، هو تضمين شدة الإضاءة أو القدرة. وتعتبر ميزته الأساسية هو أنه يمكن تضمين المصدر الضوئي مباشرة من خلال التيار المحرك والصمامات الثنائية الضوئية حيث ستتحول القدرة الضوئية، بشكل مباشر، إلى تيار ضوئي كهربائي.

وهنالك نوعان من تضمين شدة الإضاءة:

- التضمين المباشر لشدة الإضاءة،
- تضمين متبوع بتضمين شدة الإضاءة.

أولاً، التضمين المباشر لشدة الإضاءة

وهي عملية بسيطة جداً تعتمد على كون الإشارة البصرية متناسبة طردياً مع الإشارة الكهربائية. ويجب كذلك أن تكون خصائص جهاز الإرسال وجهاز الاستقبال متشابهة تماماً، كما يمكن تحقيق خطية (Linearity) عالية، ولكن بأجزاء صغيرة فقط. كما إن استعمالها محصور في الإرسال التماثلي فقط على الرغم من أنها تستعمل أحياناً لإرسال الإشارات لمسافات قصيرة.

ثانياً، التضمين المتبوع بتضمين شدة الإضاءة

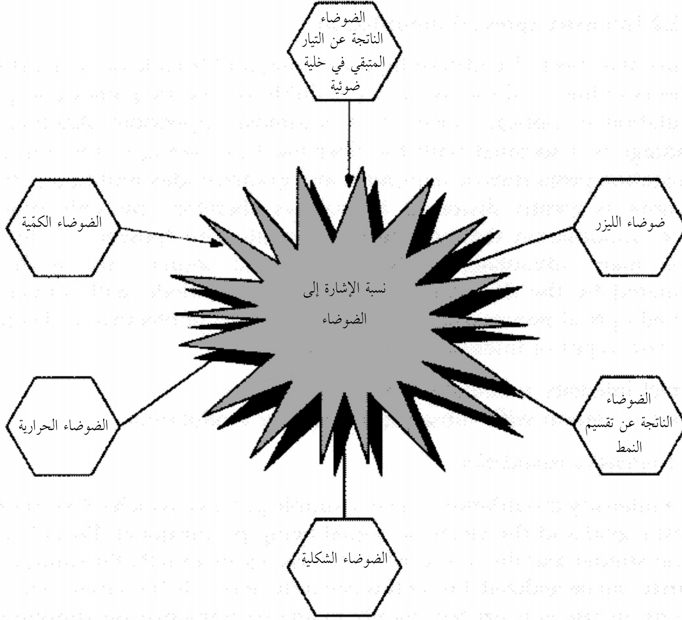
تكمن إحدى محاسن هذا النوع من التضمين بأنه قد جرى فيه تحسين نسبة الإشارة إلى الضوضاء (Signal -to- Noise Ratio). كما إن اللاخطية (Non-Linearity) لناقل قدرة الإلكترونيات البصرية لن تؤثر في الإشارة بعدئذٍ. والتصميم بسيط كذلك، فهذه الطريقة مناسبة بالتحديد لإرسال إشارات الصور المتحركة لمسافات قصيرة ومتوسطة.

يتم تحديد السعة الموجية لمسلك الإرسال في الإلكترونيات البصرية شديدة الإضاءة من خلال:

- سعة موجة تضمين جهاز الإرسال البصري،
- تأثيرات التشتت في الليف (مثلاً التشتت الشكلي والمادي وتشتت دليل الموجة)،
- سعة موجة تضمين جهاز الاستقبال البصري.

2-18 نسبة الإشارة إلى الضوضاء

تعتمد نسبة الإشارة إلى الضوضاء عند خرج أنظمة البث الإلكتروبصرية على العناصر الظاهرة في الشكل 2-34.



الشكل 2-34 نسبة الإشارة إلى الضوضاء

ملاحظة: إن في أي نظام تناظري بعض من الجهد الكهربائي (Voltage) يجب قياسه (الإشارة (Signal))، أما بعض الجهد الآخر هذا، فهو عبارة عن تقلبات عشوائية (ضوضاء). وتسمى نسبة طاقة الحالتين (بنسبة الإشارة إلى الضوضا (SNR) وهي معيار جودة الإشارة وعادة ما يعبر عنها بالدسيبل.

2-18-1 الضوضاء الحرارية في جهاز الاستقبال البصري

سبب هذه الضوضاء مقاومة الحمولة والمضخم الأول. ويمكن تقليص هذه الضوضاء باستعمال جهاز مثل مضخم المعاوقة لتقليص

ثابت الوقت الفعّال وسعة الصمام الثنائي الضوئي، ما يحد من تجاوب تردد جهاز الاستقبال.

2-18-2 الضوضاء الكمومية للضوء

يعود السبب الأساسي لهذه الضوضاء إلى الصمامات الثنائية الباعثة للضوء.

2-18-3 الضوضاء الناتجة من التيار المتبقي في الخلية الضوئية

يحدث تدفق لتيارٌ عكسي حتى لو كان الصمام الثنائي الضوئي غير عامل، ما يولد مكوّن ضوضائي. وعلى الرغم من أن استعمال الصمام الضوئي التيهوري (Avalanche Diode) الذي يُقلّص هذا التأثير، إلا أن هذه الصمامات تصدر بحد ذاتها ضوضاءً، ولذلك فإن فوائد استعمالها محدودة. وتُقلص أجهزة الاستقبال البصرية الضوضاء الناتجة من التيار المتبقي عادةً باستعمال مرشح للترددات المنخفضة (Low Pass Filter).

2-18-4 ضوضاء الليزر

تستطيع تركيبة الليزر أن تؤثر في استقرار الطاقة الخارجة لجهاز الإرسال.

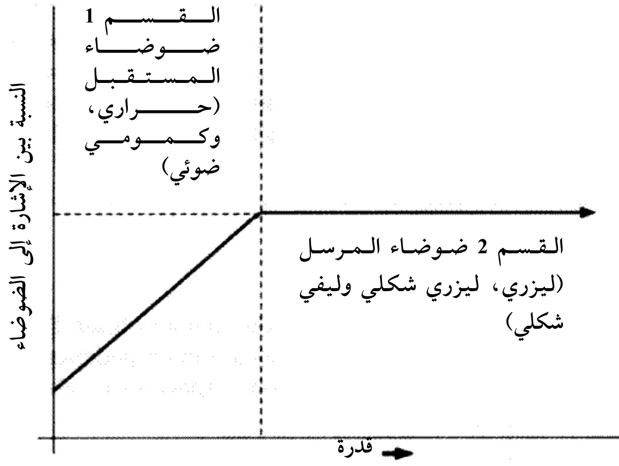
2-18-5 الضوضاء الناتجة من تقسيم النمط

وسبب ذلك هو وصول الأنماط الليزرية الفردية إلى جهاز الاستقبال بأوقات مختلفة، ما يولد زيادة في الضوضاء.

2-18-6 الضوضاء الشكلية (في الألياف متعددة الأنماط)

عندما يتم استعمال ليف متعدد الأنماط بمعامل انكسار متدرج

مع صمام ثنائي ليزري ذي عرض طيفي ضيق، فإن النمط التداخلي الناتج ليس مستقراً جداً. وذلك بسبب تأثيرات الليف والتقلبات في طول الموجة البصرية. وهذا ملحوظ جداً عند المفاصل والوصلات.



الشكل 2-35 رسم بياني لنسبة الإشارة إلى قدرة الضوضاء بالمقارنة مع الطاقة عند خرج جهاز الاستقبال البصري.

لقد جرى التحقق من أنه في حالة الطاقات المنخفضة تسود ضوضاء جهاز الاستقبال (أي الضوضاء الحرارية والضوضاء الكمية للضوء)، وأن نسبة الإشارة إلى الضجيج تتحسن مع تحسن الطاقة البصرية حتى تصبح ضوضاء جهاز الاستقبال (أي ضوضاء الليزر والضوضاء الشكلية لليزر والضوضاء الشكلية لليف) مسيطرة. عندها يصبح معدل الإشارة على الضوضاء ثابتاً، كما هو ظاهر في الشكل 2-35.

ويمكن توقع الحصول على معدل إشارة إلى الضوضاء مساوياً 40 دسيبل في الصمامات الثنائية الليزرية الموجهة بالكسب (Gain-Guided Laser Diodes).

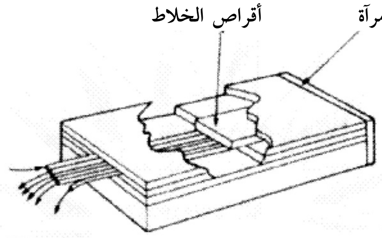
2-19 أنواع الخلّاطات

هناك ثلاثة أنواع من الخلّاطات المستعملة في الألياف البصرية.

- خلّاطات البث من النهاية (End Fire Mixers)،
- الخلّاطات الباثّة (Transmissive Mixers)،
- خلّاطات الإرسال ثنائية المخروط (Biconical Tapered Transmissive).

2-19-1 خلّاطات البث من النهاية

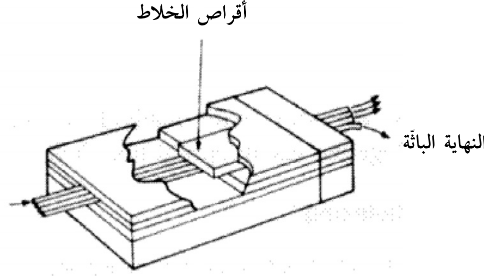
هي أقراص رقيقة من زجاج الكوارتز (Quartz) مدمجة في طبقة ذات معامل انكسار منخفض، تساوي سماكتها قُطر لب الليف، وعرضها يُساوي مجموع الأقطار الخارجية للألياف. وتضمن بأن يقسّم الضوء الآتي بشكل متساوٍ على الألياف الأخرى الخارجة من الجهاز، وبذلك فهي تعمل عمل دليل موجي فعّال (الشكل 2-36)، أي كمرآة عاكسة للضوء.



الشكل 2-36 خلّاطات مشعات بث من النهاية مع أقراص ومرآة.

2-19-2 الخلّاطات الباثّة

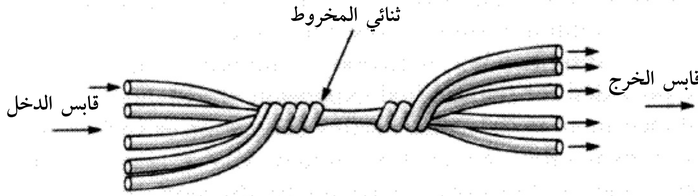
هذا الخلاط شبيه بالخلّاطات المشعّة من النهاية باستثناء أن الألياف الداخلة والخارجة ترتب بشكل معاكس لبعضها بعضاً (الشكل 2-37).



الشكل 2-37 الخلّاط الباثّ مع أقراص الخلاط.

2-19-3 خلاطات الإرسال ثنائية المخروط

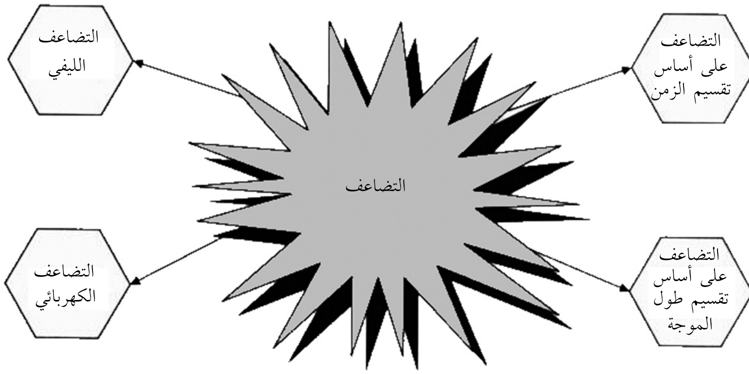
تتوزع الطاقة في أي من، أو في كل الألياف الداخلة في هذا النوع من الخلاطات على قوابس لإخراج الإشارة (الشكل 2-38)



الشكل 2-38 خلاطات البث ثنائية المخروط

2-20 أنواع المضاعفة

من المفضل عادةً استعمال ليف ذي نمط مفرد عالي الجودة (انظر الفصل الثالث) ذي سعة موجية للإرسال تبلغ قيمتها 56.5 ميغابت في الثانية الواحدة، وذلك بسبب خصائص التشتت لدليل الموجة البصرية، وبسبب القيود المالية. وهذه العملية هي عكس عملية جمع أربع إشارات ذات حجم 140 ميغابت في الثانية مع بعضها بعضاً.



الشكل 2-39 أنواع المضاعفة

وهناك أربعة طرق أساسية لمضاعفة (Multiplexing) وجمع عدة إشارات كهربائية مع بعضها بعضاً عبر وصلة ليف بصرية.

2-20-1 المضاعفة بالألياف

وهذا يعني استعمال ليف منفصل لكل إشارة ثم تجميعها.

2-20-2 المضاعفة الكهربائية

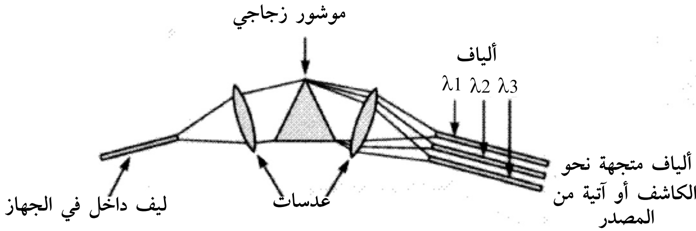
تحدث المضاعفة الكهربائية عندما تُجمع عدة إشارات مدخلة (مثلاً أربع إشارات) كهربائياً. وتستخدم الاشارة المجمعة كمحرك لناقل الطاقة الإلكتروني البصري.

وعلى الرغم من أن استعمال المضاعفة الكهربائية متوفر اقتصادياً وأقل تعقيداً من تضاعف انقسام طول الموجة بالنسبة إلى الوصلات العادية للاتصالات السلكية واللاسلكية، فإنه من المفضل استعمال التضاعف بتقسيم طول الموجة لشبكات خطوط المشترك ذلك بسبب مرونتها التي تسمح بتوسيع تدريجي للشبكات المركبة مسبقاً.

في مرحلة مبكرة مثلاً، يمكن إرسال مصادر الموجات ضيقة النطاق (Narrow Band)، مثل الهاتف وإرسال المعلومات عبر ليف مفرد إلى المشترك، وذلك باستعمال تضاعف تقسيم طول الموجة المزدوج الاتجاه بطول موجة يُساوي 800 و900 نانومتر. وبالإمكان كذلك إرسال الإشارة على موجة بطول يُساوي 1300 نانومتر عبر الليف نفسه، وذلك باستعمال ناقلات طاقة إلكترونية بصرية إضافية إذا كان هناك حاجة إلى الاتصال المرئي.

2-20-3 المضاعفة بتقسيم طول الموجة

إن المضاعفة بتقسيم طول الموجة (Wavelength Division Multiplexing) هي عبارة عن إرسال متزامن لعدد من إشارات دليل الموجة البصرية بأطوال موجة مختلفة عن بعضها.



الشكل 2-40 مضاعفة بتقسيم طول الموجة باستعمال الموشور.

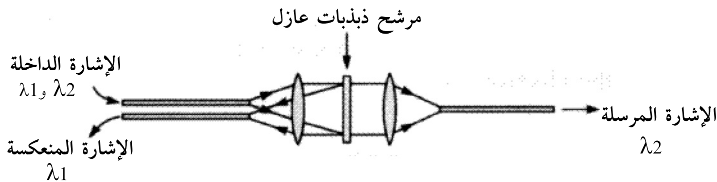
تتألف معظم وصلات الألياف الضوئية من ليفين اثنين. يُستعمل الأول للإرسال والآخر للاستقبال. كما إن أعلى معيار معدل للمعلومات للقناة المفردة المستخدمة هو 2.5 جيغابت في الثانية الواحدة (أي ما يعادل 30000 قناة تخابر عادية). وعلى الرغم من توافر أنظمة يصل معدلها إلى 10 جيغابت في الثانية، إلا أن الأنظمة التي يصل معدلها إلى 40 جيغابت و80 جيغابت في الثانية ليست متوفّرة حالياً.

وعلى أي حال، فإن للألياف الضوئية القدرة على حمل قنوات متعددة باستعمال تكنولوجيا تعرف بمضاعفة تقسيم طول الموجة. وبكلمات بسيطة، تستعمل هذه التكنولوجيا الليف نفسه لحمل قنوات مختلفة باستعمال أطوال مختلفة للموجة أو «ألوان» ضوء مختلفة.

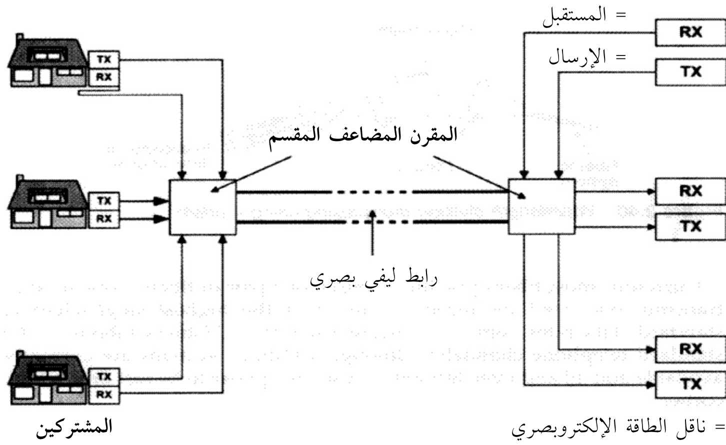
هناك عدة تقنيات لتحقيق ذلك، مثل استعمال الموشور كعنصر مشتت لطول الموجة (الشكل 2-40) أو باستعمال مرشح عازل (Dielectric Filter) متعدد الطبقات كمقسم انتقائي لطول موجة الشعاع (Wavelength Selective Beam Splitter) (الشكل 2-41). وتسمى الأجهزة التي تقوم بالمضاعفة من خلال تقسيم طول الموجة وإزالة هذا التضاعف بالمقرنات (Couplers).

في المثال المعروض في الشكل 2-42، تستخدم في كل مقرن قوابس لقَرن الألياف ببعضها. ويعمل المقرن كمضاعف لتقسيم طول الموجة أو كمزيل للتضاعف. وأما إذا ما استعمل المقرن بنمط عكسي، فيسمى بالمقرن المضاعف المقسم (Muldex Coupler)، والاسم خليط بين كلمتي (Demultiplexer) و(Multiplexer).

تسمح هذه التكنولوجيا بتضمين الإشارات المستقلة عن بعضها بعضاً والموجودة على أطوال موجة ناقلة مختلفة وفاصلة بين القنوات صغيرة، بمضاعفة هذه الإشارات بسلوك مختلف (مثل رقمي أو تماثلي) وترسل بعدئذٍ عبر الليف نفسه.



الشكل 2-41 مضاعفة تقسيم طول الموجة باستعمال مرشح عازل متعدد الطبقات.



الشكل 2-42 مثال على أنظمة الإرسال المضاعف بتقسيم طول الموجة عبر الليف الضوئي مع مقرنات مضاعفة مقسمة متعددة الاتجاهات.

يزداد الفقد الناتج من الاقحام Insertion، ما يقصر مدى المقرن إلى 5 كلم، ويستعمل نوع كهذا من المضاعفات عادة في شبكات اشتراك التلفاز المحلية.

2-20-4 المضاعفة بتقسيم طول الموجة المكثفة

يزيد هذا النوع من المضاعفة من سعة الليف من خلال إرسال المعلومات بأطوال موجة متعددة تعرف بالقنوات.

إن هذه التكنولوجيا مثالية للاتصال من نقطة إلى نقطة (Point-to-Point)، كما إنها الواصل الرئيس متعدد القنوات في الشبكة، كما إن لديها عدداً قليلاً من عمليات التحويل أو التبديل (Switching) والتوجيه (Routing) التي تحتاجها الأنظمة الأخرى بكثرة.

أما في التكنولوجيا الحالية، فيجب تحويل الإشارة عند نقاط التحويل ومن ثم إعادتها إلى المجال الضوئي (Optical Domain) من أجل التوجيه الصحيح. وأما الأثر الجانبي لهذا التضاعف فهو تقلص

الفعالية الكلية للوصلة بسبب الضوضاء المضافة والقيود التي تفرضها الإلكترونيات على السعة الموجية.

2-20-5 المضاعفة بتقسيم الزمن

يستعمل عدد من الرسائل النموذجية في أنظمة المضاعفة بتقسيم الزمن لتضمين ناقل نبضي (Pulsed Carrier) بأوقات مختلفة. وهذا يضمن إرسال ناقل واحداً فقط في لحظة واحدة.

في الفصل الثاني، جرى تعريف القارئ بالنظريات التي استندت عليها الإلكترونيات الضوئية وتكنولوجيا الليف الضوئي. وسيناقش في الفصل التالي متاحية أنواع الأسلاك الليفية وبنيتها وطريقة صنعها واستعمالها وفوائدها.

الفصل الثالث

الألياف والكابلات

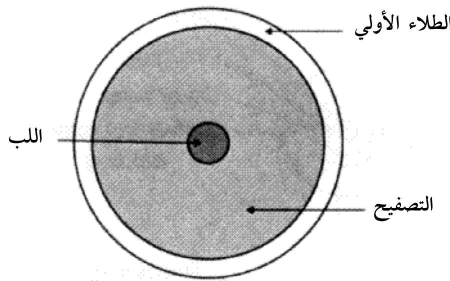
لقد سلطنا الضوء في الفصل السابق على الأسس النظرية التي تستند عليها تكنولوجيا الإلكترونيات البصرية، أما في هذا الفصل فسنلقي الضوء على الناحية الفيزيائية لهذه التكنولوجيا. وسنعرض كذلك أنواعاً مختلفة من الألياف المتوافرة، بالإضافة إلى عملية تصنيعها وتقنياتها، ومزايا الأسلاك ومواصفاتها، ومن ثم النظر في طرائق تركيب الأسلاك.

لاحظنا في الفصل السابق وجود نوعين من الليف الخام (Raw Fiber): الليف متعدد الأنماط المستخدم في اتصالات البيانات، والليف مفرد النمط المستخدم في الاتصالات السلكية واللاسلكية. والفرق بينهما هو الحجم النسبي والأداء البصري. وسنلقي في هذا الفصل الضوء على كيفية تصنيع هذه الألياف وطرق استعمالاتها.

لقد جرى تطوير أنظمة الألياف البصرية للاتصال لتصبح وسيلة لإرسال السعة الموجية لمسافات بعيدة. والسبب وراء ذلك هو الحاجة المتنامية إلى أجهزة الحواسيب لمعالجة نقل المعلومات بسرعة كبيرة.



الشكل 3-1 حجم الليف البصري شبيه بحجم شعرة الإنسان (مهداة من شركة AURIGA (Europe) PLC)



الشكل 3-2 تركيبة الليف البصري

يتكون اللب البصري من اللب وطبقة تصفيح محاطة بطلاء أولي واق (شكل 3-2). إن معامل انكسار أو «الكثافة البصرية» (Optical Density) للب أكبر من معامل انكسار التصفيح، وينعكس الضوء ضمن المنطقة الواقعة بين هاتين الطبقتين.

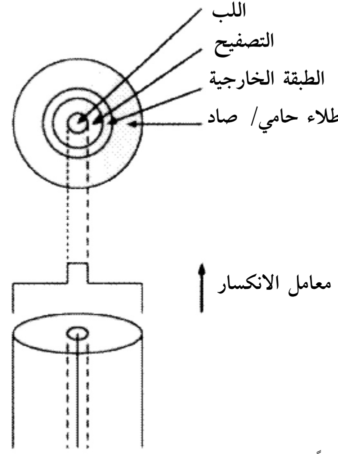
إن المادة الأساسية المستخدمة في صنع الألياف التي تستعمل في الاتصالات البعيدة المدى هي زجاج السليكا في أنقى أشكاله،

ولهذه المادة صفات مرغوب فيها من حيث التوهين المنخفض والكلفة المنخفضة والوفرة. ويمكن زيادة معامل الانكسار العالي للّب من خلال إضافة عناصر منشطة، مثل الفوسفور، والجرمانيوم والبورون إلى السليكا أثناء التصنيع. غير أن هذا لا يعني أن كل الألياف تصنع من زجاج السليكا.

3-1 الليف مفرد النمط

يسمح الليف مفرد النمط (ويعرف أيضاً بالليف الأساسي أو أحادي النمط) لنمط واحد فقط بالعبور من خلاله، ولذلك فإن فروقات التأخير معدومة في هذا الليف. إن هذا الليف مثالي لعملية الاتصال بعيد المدى ومناسب للدارات عالية السعة من أجل إرسال المكالمات والبث التلفزيوني... إلخ، وذلك أن هذا النوع من الألياف قادر على تحمل سعة موجية عريضة (تصل مثلاً إلى 40 جيغاهرتز (GHz)). وعلى الرغم من أن هذا الليف قد جرى تطويره أساساً ليعمل في نطاق طول موجي يبلغ نحو 1300 نانومتر، إلا أنه من الممكن استخدامه بشكل فعال مع أنظمة المضاعفة بتقسيم الزمن (Time - Division Multiplex) (TDM) وأنظمة المضاعفة بتقسيم طول الموجة (WDM) العاملة في نطاق الطول الموجي 1550 نانومتراً.

ويظهر الشكل 3-3 مقطعاً عرضياً لليف مفرد النمط ذا سيماء معامل انكسار. وعلى الرغم من أن طبقة التصفيح الخارجية لسلك الليف البصري تساوي عشرة أضعاف سماكة شعاع اللب على الأقل (من أجل منع حصول فقد بسبب الالتواء الصغير)، إلا أن الحجم الفعلي للب الليف هو عدة ميكروميترات فقط (حوالى 2 إلى 8 مايكرومتر)، مع اختلاف في معامل الانكسار بنسبة تَقلّ عن 0.3 في المئة.



الشكل 3-3 يظهر رسماً مقطعياً لليف بصري مفرد النمط ومعامل الانكسار.

إن لب الليف مفرد النمط من حيث التصميم ضيقٌ جداً مقارنة بطول موجة الضوء المستخدم. وبدلاً من استخدام سلك متعدد الأنماط يبلغ قُطره 62.5 ميكرون، فإنه من الممكن استخدام ليف مفرد النمط ذي قُطر يبلغ 8 ميكرونات حيث ينتقل الضوء فيه ضمن مسار واحد فقط.

وطبيعياً، ينتقل حوالى 20 في المئة من الضوء في السلك مفرد النمط عبر طبقة التصفيح. وأما القُطر الفعال للسلك فهو خليط من لب مفرد النمط وقدرة طبقة التصفيح على حمل الضوء والذي يُسمّى «بقُطر حقل النمط» (Mode Field Diameter) والذي يمكن أن يكون أكبر من القُطر الفيزيائي للّب، ويعتمد ذلك على معاملي انكسار اللب والطبقة الوقائية (التصفيح).

إن إحدى مساوئ استعمال الليف مفرد النمط هي الصعوبة الناتجة عن محاولة إقران المساحة الصغيرة لمقطع لب الليف مع الكاشف الإلكتروبصري أو عند محاولة وصل (Splicing) الليف بليف آخر.

إذا ما أخضع الليف لجهد ميكانيكي، فمن الممكن أن تتولد

انقطاعات موضعية (Local Discontinuities) . ويَتنج من انحناءات الليف إزاحات محورية من بضعة ميكرومترات، إضافة إلى أطوال موجية موقعية (Spatial Wavelengths) مكوّنة من بضعة مليمترات، تولّد إشعاع ضوئي غير مرغوب فيه، بالإضافة إلى فقد بالتوهين. ويسمى هذا الفقد بالفقد الناتج من الالتواءات الصغيرة (Microbending Losses) . وفي حالة الانحرافات المحورية الماكروسكوبية للألياف البصرية يسمى الفقد الالتوائي الماكروي (Macrobending Losses) (انظر الفصل الثاني). ولتخطي هذه المشاكل تستخدم الصمامات الثنائية الليزرية عالية الشدة (High Intensity LED) عامة .

وتبرز مشكلة أخرى عند استعمال الألياف ذات النمط المفرد، إذ عندما يقل معامل انكسار الزجاج بالنسبة إلى طول الموجة البصري، تصبح سرعة الضوء معتمدة على طول الموجة. وبذلك يصبح للضوء الصادر من جهاز الإرسال البصري عرض طيفي مُحدد (مثلاً الصمامات الثنائية الباعثة للضوء (LEDs): 40 نانومتر، وليزرات متعددة النمط: 3 نانومتر، وليزرات أحادية النمط: 0.01 نانومتر)، وستظهر بالتالي فروقات التأخير (Delay Difference) .

لذلك، توجد ميزة لاستخدام (محدود) للّيف متعدد الأنماط.

3-2 الليف متعدد الأنماط

مقارنة بالليف أحادي النمط، فإن الليف متعدد الأنماط له لب أكبر من حيث القُطر (50 – 60 نانومتر عادة) وفتحة عددية عالية. وكما يوحي الاسم يستطيع هذا النوع من الألياف أن ينقل أكثر من نمط واحد في الوقت نفسه، وهو مناسبٌ جداً لسعة موجية عالية (أي مكونة من عدة جيغاهرتزات (GHz))، بالإضافة إلى تطبيقات الإرسال متوسط المسافة. وتبلغ سماكة طبقة التصفيح الخارجي

حوالى عشرة أطوال موجية، كما إن حجمها يُساوي ضعفي قُطر اللب تقريباً.

وكما يوحي اسم الليف من جديد، فإن هناك مسالكاً وأنماطاً متعددة يمكن للضوء (الشعاع) أن ينتقل من خلالها. مثلاً، فإن ليفاً يبلغ قُطر لبّه 62.5 ميكرون، وضوءاً ذا طول موجي يبلغ 1300 نانومتر، قادر على نقل حوالى 228 نمطاً.

تكمن مشكلة السلك متعدد الأنماط في أن بعض الأنماط أطول من غيرها، وأن نبضة الضوء «ستنتشر إلى الخارج» بسبب التشتت الشكلي. ويسمى هذا التشتت بتداخل الرموز (Inter Symbol Interference)، ما يحد من المسافة التي يمكن لليف متعدد الأنماط أن يرسل نبضة عبرها.

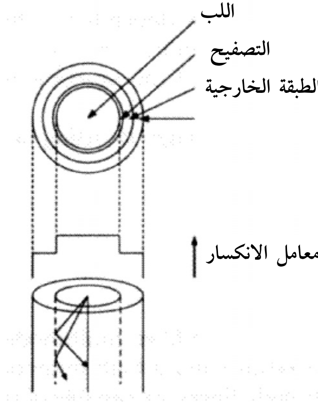
وهناك نوعان من الألياف متعددة الأنماط.

- ألياف معامل الانكسار الخطوي.
- ألياف معامل الانكسار المتدرج.

3-2-1 ليف متعدد الأنماط ذو معامل الانكسار

كما ذُكر في الفصل الثاني، فإن الليف الزجاجي في الهواء له زاوية حرجة كبيرة تبلغ نحو 42 درجة. وتسمح هذه الزاوية بإرسال المعلومات عبر مسالك أطول من المسلك المحوري (Axial Route)، إلا أن التوهين وفقد التشتت سيزدادان ويجعلان لب الليف ضيقاً جداً (حسب توصيات لجنة التلغراف والهاتف الاستشارية العالمية (CCITT) رقم G651 التي توضح أن «قُطر اللب يجب أن يبلغ 50 ميكروميتراً، وأن تبلغ طبقة التصفيح 150 ميكروميتر»). وبتغليف اللب بمادة واقية مصنوعة من مادة معينة ذات معامل انكسار أقل بقليل من المعامل الموجود في الليف (غير أنها مع ذلك قادرة على ضمان تغيير معامل الانكسار عند سطح اللب/ الطبقة الوقائية /Interface)

(Core-Cladding) مباشرة، فلَن تتقلص الزاوية الحرجة فقط، بل سيتم تقليص الفقد كذلك.



شكل 3-4 رسم مقطعي لليف متعدد الأنماط ومعامل الانكسار.

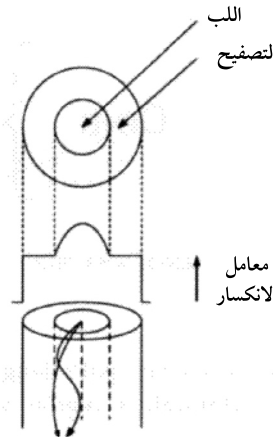
يسمى الليف البصري المركب بهذه الطريقة ليف معامل أو دليل الانكسار الخطوي (Step Index Fiber - SIF) وهو ملائم للإرسال لمسافات قصيرة (Short-Haul). كما إن كلفة تركيب هذا الليف منخفضة ولديه سعة موجية تصل إلى 20 ميغاهرتز. ويبين الشكل 3-4 ليف معامل انكسار متعدد الأنماط مع مقطع عرضي ومعامل الانكسار.

إن معامل انكسار مادة التصفيح في ليف معامل الانكسار أقل بنسبة 10 في المئة من معامل انكسار اللب، مع العلم أن الضوء المقرون مع الليف هو في زاوية قبول منخفضة، ولذلك ستحصل ظاهرة الانعكاس الكلي لأشعة الضوء. ولكن يجب الأخذ بعين الاعتبار أنه بالرغم من ثبات سرعة الضوء ضمن اللب، إلا أن سرعة الشعاع الداخل من زاوية أعلى ستكون أقل من سرعة الأشعة ذات زاوية الانعكاس الصغيرة. وتعتبر الزاوية 12 درجة زاوية قبول مثالية.

ويحد انعكاس الأشعة الضوئية عن التصفيح الزجاجي في الألياف بشكل مستمر نحو مركز اللب بزوايا وأطوال مختلفة من السعة الموجية الكلية للسلك.

يكمن العيب الأساسي لألياف معامل الانكسار الخطوي في أن الأطوال الضوئية المختلفة التي تنتج من الزوايا المختلفة لدخول الضوء إلى اللب تجعل سعة موجة الإرسال صغيرة تماماً. ويمكن تفادي هذه التأثيرات باستعمال ليف بصري بمعامل انكسار متدرج (Graded Index). وعليهِ، وبسبب هذه القيود، يستعمل ليف معامل الانكسار متعدد الأنماط عادة للإرسال عبر مسافة تقل عن كيلومتر واحد.

وعلى الرغم من العرض الموجي المنخفض والتوهين العالي ومسافة الإرسال القصيرة المرافقة لليف معامل الانكسار الخطوي، إلا أن القُطر الكبير للب الليف (الذي يصل إلى ملم واحد) يجعل تركيب أو وصل الليف سهلاً، لا سيّما أن التعديل الخطي (Linear Alignment) للّب ليس مهماً جداً.



شكل 3-5 ليف بصري متعدد الأنماط بمعامل انكسار متدرج. مقطع عرضي لمعامل الانكسار .

3-2-2 الليف البصري متعدد الأنماط ذو معامل الانكسار المتدرّج

تجري إحدى طرق تقليص التشتت الشكلي في ليف متعدد الأنماط من خلال تعديل معامل الانكسار الضوئي للزجاج بحيث يصبح الضوء قادراً على الانتقال بسرعات مختلفة. ويمكن تخفيض ذلك من خلال عملية التصنيع الحذر لليف بحيث يكون الضوء الداخل إلى الليف من زاوية قبول ضيقة قادر على الانتقال بسرعة أبطأ من سرعة الضوء المنعكس في الأنماط القريبة من المنطقة الخارجية للب. ويضمن تغيير سرعة طول المسار (Path Length) (أي جعل المسارات الأقصر تنتقل ببطء مقارنة بالمسارات الطويلة) بقاء نبضات الضوء مع بعضها بعضاً ويمنع انتشارها كما يحدث عند استعمال ليف بصري متعدد الأنماط بمعامل انكسار متدرج.

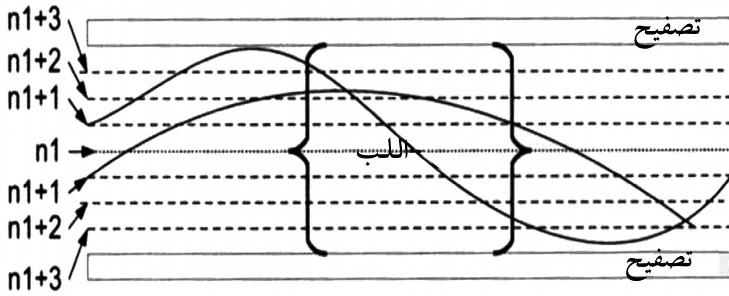
إن ليف معامل الانكسار المتدرج متعدد الأنماط قادر على إرسال 800 نمط.

على الرغم من أن استعمال الألياف ذات معامل الانكسار المتدرج كان محصوراً في شبكة الهاتف الرئيسة (Trunk Network) فقط (أي الإرسال عبر المسافات البعيدة)، إلا أن توظيف هذا النوع من الألياف في شبكات محلية ذات طول موجي يبلغ 850 وآخر يبلغ 1300 نانومتر بات شائعاً في الوقت الحاضر.

يتناقص معدل انكسار اللب متعدد الأنماط تدريجياً ابتداءً من مركز الليف متعدد الأنماط بمعامل انكسار متدرج باتجاه حافته وينتج من ذلك التواء بطيء للضوء بدلاً من تقافزه الذي يسمى بالنمط الخطوي (Step Pattern)، وبسبب هذه التغيرات في معامل الانكسار الضوئي، فإن مسار الضوء يصبح جيبياً (Sinusoidal) بدلاً من أن

يكون متعرجاً. فيتبع الضوء بذلك مساراً منحنياً (Curved Paths). ويبين الشكل 3-5 رسماً مقطعياً لليف معامل انكسار متدرج، بالإضافة إلى سيماء معامل انكساره ومحتويات مقطعه العرضي.

إن السبب وراء هذه الظاهرة هو أن لب الليف مؤلف من غشاء مركزي أو محور ليفي محاط بهياكل رقيقة جداً، ولدى كل واحدة منها معامل انكسار ضوئي مختلف إلا أنه ثابت. ويمكن الملاحظة في الشكل 3-6 أن أشعة الضوء التي تقترب من محور الليف، على الرغم من قصر طول مسارها إلا أن سرعتها بطيئة لأنها تمر من خلال منطقة ذات معامل انكسار ضوئي عالٍ.



شكل 3-6 المسارات البصرية في ليف بمعامل انكسار متدرج

وبسبب انخفاض نسبة معامل الانكسار عند حافات اللب، فإن الأشعة التي تسلك الطرق الأكثر انحرافاً ستنتقل أسرع من الأشعة المحورية، ما يجعل زمن انتقال مكوّنات الضوء عبر الليف بكامله متقارب، فيُقلّص من الفقد الناتج عن التشتت.

لذلك، يختلف الضوء المرسل عبر الليف متعدد الأنماط ذي المسالك المختلفة عن الضوء المار في مسالك موازية لمحور الليف والقريبة من الزاوية الحرجة.

إن كل مسلك ذو زاوية مختلفة يسمى بـ «نمط الإرسال».

وتعرف الفتحة العددية لليف معامل الانكسار المتدرج بأنها أعلى قيمة لزاوية القبول عند محور الليف.

إن معاملات التوهين النموذجية للألياف ذات معامل الانكسار المتدرج على طول موجي 850 نانومتر تتراوح بين 2.5 و3 $dBkm^{-1}$، أما عند طول الموجة 1300 نانومتر فإنها تتراوح بين 1.0 و1.5 $dBkm^{-1}$، وهي مع 3 دسيبل بسعة موجية تقدر بحوالى 2000 ميغاهرتز (MHz).

إن الميزة الرئيسة لاستخدام ليف معامل الانكسار المتدرج هي أن معامل الانكسار الضوئي منخفض في لب الليف. وهذا جيد عملياً عندما يجري إقران مناطق صغيرة باعثة، مثل شعاع حاد لصمام ثنائي صغير باعث للضوء أو صمام ثنائي ليزري، مع الليف. والميزة الأخرى لهذا النوع من الألياف هي أن كلفة إنتاجها أرخص مقارنة بالأنواع الأخرى.

ويُظهر الجدول 3-1 مقارنة بين الأنواع الرئيسة لليف مفرد النمط، وليف معامل الانكسار وليف معامل الانكسار المتدرج.

3-3 عمليات التصنيع والتصاميم لموجهات الموجة البصرية

إن المزايا المرافقة للألياف البصرية معروفة منذ زمن طويل، غير أنها لم تكن ممكنة إلا في أوائل السبعينيات من القرن العشرين عندما أنتجت شركة (كورنين للزجاجيات Corning Glass Works) ليفا قابلاً للاستعمال ذا قدرة توهين تبلغ 16 $dBkm^{-1}$. أما في الوقت الحاضر، فإن مستوى التوهين هو أقل من 1 $dBkm^{-1}$. ويمكن أن يصل المستوى إلى 0.1 $dBkm^{-1}$ في بعض الحالات الاستثنائية.

جدول 3–1 مقارنة بين أنواع الليف البصري الثلاثة الرئيسة

نوع الليف	فعالية سعة الموجة	قُطر القرن	عامل التوهين (dB)	اللب	المحاسن	المساوئ	الأنواع	الاستخدام
معامل الانكسار الخطوي	20 - 10 $MHzkm^{-1}$	70	10	100 إلى 200	معامل انكسار منخفض في اللب	انتقال منخفض لسعة الموجة.	يشمل كل أنواع البلاستيك، وبعض الألياف الزجاجية ذا حجم لب 100 ميكرومتر أو أكبر.	للمسافات القصيرة (أقل من كيلومتر)
معامل الانكسار المتدرج	1 $GHzkm^{-1}$	40	5	50	رخيص مقارنة بالألياف الأخرى. تشتت شكلي أقل		الأحجام المعتادة 125/ 50، 125/ 62.5 و125/ 85 ميكرومتر.	
مفرد النمط	20 إلى 2000 $GHzkm^{-1}$	20	3	10	انتقال واسع لسعة الموجة. معامل توهين قليل جداً	كفاءة الإقران ليست جيدة.	لب صغير الحجم قياسه 125/ 8 ميكرومتر.	يستخدم لإرسال المعلومات عبر مسافات طويلة. (أي توصيلات مع سعة حمل معلومات كبيرة. تتطلب عدد قليل من المكررات).

نوع النمط	قُطر اللب (ميكرون)	قُطر التصفيح (ميكرون)	الفتحة العددية	السعة الموجية المكتنة (MHz-km)			معامل التشتت اللوني (Ps/nm-km)		معامل التوهين (dB/km)		
				850 نانومتر	1310 نانومتر	1550 نانومتر	1310 نانومتر	1550 نانومتر	850 نانومتر	1310 نانومتر	1550 نانومتر
مفرد النمط	8.0	125	0.110				3.0	18.0		0.40	0.3
متعدد الأنماط	50.0	125	0.200	200 إلى 1000	400 إلى 1500				3.00	1.00	
متعدد الأنماط	62.5	125	0.275	160 إلى 300	200 إلى 1000				3.75	1.75	
متعدد الأنماط	85.0	125	0.260	100 إلى 200	200 إلى 400				4.00	2.00	
متعدد الأنماط	100.0	140	0.290	100	100 إلى 200				5.00	2.00	
متعدد الأنماط	200.0			10					أكبر من 10.00 <		

جدول 3-2 مقارنة النمط

3-4 تقنيات التصنيع

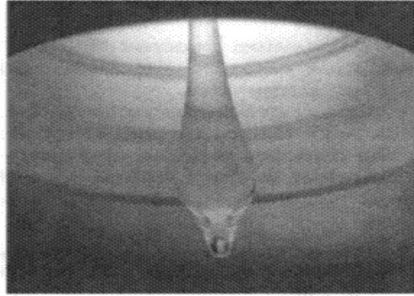
كيف يصنع الليف البصري؟ مبدئياً، هناك ثلاث خطوات منفصلة: تحضير عجينة الزجاج (Glass Preform)، وتشكيل القضيب الزجاجي، ومن ثم سحب الليف (Fiber Drawing).

3-4-1 إعداد عجينة الزجاج

يحوّل ثاني أكسيد السليكون الطبيعي (الكوارتز البلوري أو رمل السليكا) إلى زجاج صلب نقي خالٍ من الفقاعات، وذلك بإزالة كل الكلوريدات المعدنية (Metal Chlorides) (مثل الحديد) عبر التقطير الجزئي.

3-4-2 تشكيل قضيب الزجاج

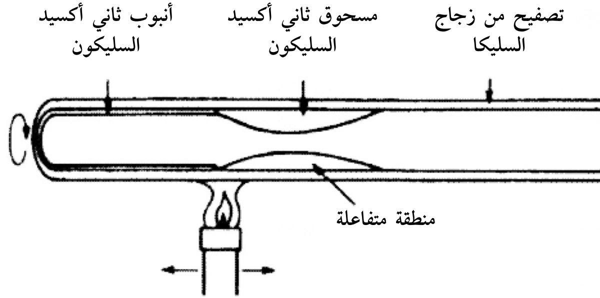
تصنّع عجينة الزجاج على شكل أنبوب بلب معين ذي معامل انكسار محدد من خلال تنشيط (Doping) أكسيد السليكون مع الجرمانيوم والفسفور، وذلك لزيادة معامل الانكسار، أو بمادة البورون و/ أو الفلوريد لتقليل معامل الانكسار. وهناك ثلاث طرق رئيسة لتشكيل قضيب الزجاج: الترسيب الداخلي بالبخار (Internal Vapor Deposition)، والترسيب الخارجي بالبخار (External Vapor Deposition)، والترسيب المحوري بالبخار (Axial Vapor Deposition).



الشكل 3-7 السقوط الحر لصهيرة زجاجية من الطرف الساخن لحزمة السليكا. تبدأ بعدئذٍ عملية سحب الليف (مهداة من قبل شركة كورنينغ للأسلاك)

3-4-2-1 الترسيب الداخلي بالبخار

يوضح الشكل 3-8 كيفية تحضير عجينة الزجاج بواسطة الترسيب الداخلي بالبخار.



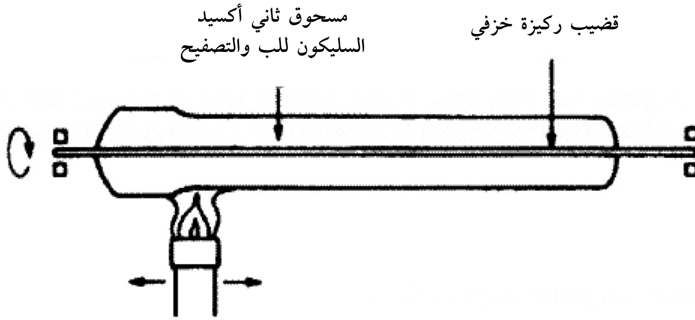
الشكل 3-8 الترسيب الداخلي بالبخار لتحضير عجينة الزجاج .

يجري ترسيب مسحوق أكسيد السليكون (مطعم ليعطي معامل الانكسار المطلوب) في طبقات على أنبوب دوار. ومن ثم يسخن الأنبوب إلى 1600° C لتشكيل طبقتي اللب والتصفيح. ويتداعى هذا القضيب المجوّف عند التسخين المطوّل ليشكل قضيباً أسطوانياً صلباً بلب داخلي وتصفيح بمعامل انكسار مطلوب. ومن ثم يحاط القضيب بتصفيح خارجي (أنبوب) من زجاج السليكا التجاري. وتسمى هذه العملية بـ «عملية التجفيف بالترسيب والتلبيد» (Deposition Drying and Sintering Process).

3-4-2-2 الترسيب الخارجي بالبخار

تتشكل في عملية الترسيب الخارجي بالبخار (شكل 3-9) طبقات من ثاني أكسيد السليكون على قضيب ركيزة خزفي لضمان خواص اللب والتصفيح. ويوضع أنبوب شياق معدني (Mandrel) على مخرطة ويُدار. ومن ثم يلقم ملهاب (Burner) بكلوريدات السليكا ومنشطات ضرورية بأنماط مختلفة لرفد الشياق بالمواد

الملائمة. تتأكسد المنشطات في لهب الأكسي هيدروجين وتترسب على الأنبوب على شكل سخام (Soot). وبعد أن تترسب كل الطبقات اللازمة يُزال القضيب الخزفي، ويجري تسخين الأنبوب الفارغ ليتداعى ويشكل قضيباً صلباً. وقد طوّرت شركة كورنينغ هذه الطريقة.

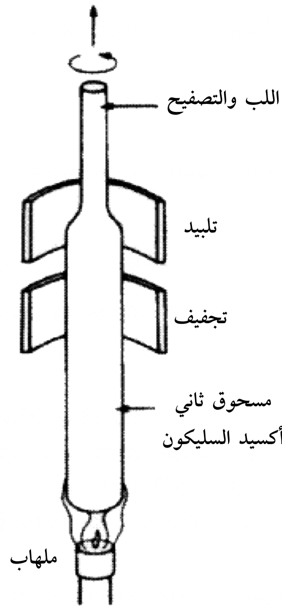


الشكل 3-9 الترسيب الخارجي بالبخار، وفيه تترسب طبقات من ثاني أكسيد السليكون على قضيب من ركيزة الخزف.

3-4-2-3 الترسيب المحوري بالبخار

يُسخّن قضيب مسامي في عملية الترسيب المحوري بالبخار ويطّعم بترسيب بمسحوق ثاني أكسيد السليكون عدة مرات (طبقة جنب طبقة وليس طبقة فوق أخرى كما ورد في الطريقتين السابقتين). وخلال هذه العملية يُسحب القضيب المسامي، ويُسخّن من جديد ليشكل قضيباً صلباً ضيقاً. وميزة هذه العملية هي أنه لا ضرورة لإزالة القضيب المسامي بعد انتهاء العملية.

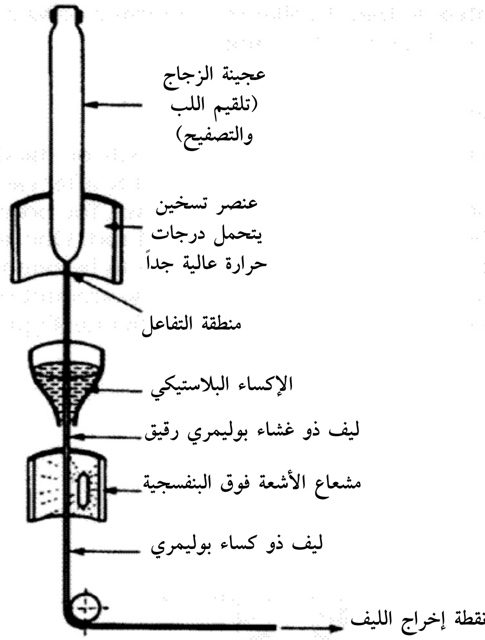
يحد سطح طرف الليف من كمية ثاني أكسيد السليكا التي يمكن ترسيبها. وبالتالي فإن ذلك يحد من معدل النمو. ويُبيّن الشكل 3-10 عملية الترسيب المحوري بالبخار.



الشكل 3-10 الترسيب المحوري بالبخار لتحضير عجينة زجاج حسب الطلب.

يسخّن القضيب الزجاجي الناتج من إحدى هذه العمليات إلى 2000 درجة مئوية، ويُسحب ليف رفيع كما هو ظاهر في الشكل 3-11.

من المهم جداً أن تجري هذه العملية بشكل ثابت لتقليص الاختلافات في قُطر الليف. ويجب أخذ الحذر لضمان عدم تلوث سطح الزجاج بجزيئات غريبة، ما يتسبب بشقوق فائقة الصغر في الليف. إن معظم المصنعين في يومنا هذا يبحثون عن زجاج نقي كيميائياً لا يحتوي على أكثر من ذرة واحدة غريبة بين كل 10^9 ذرة سليكون في الأقل.



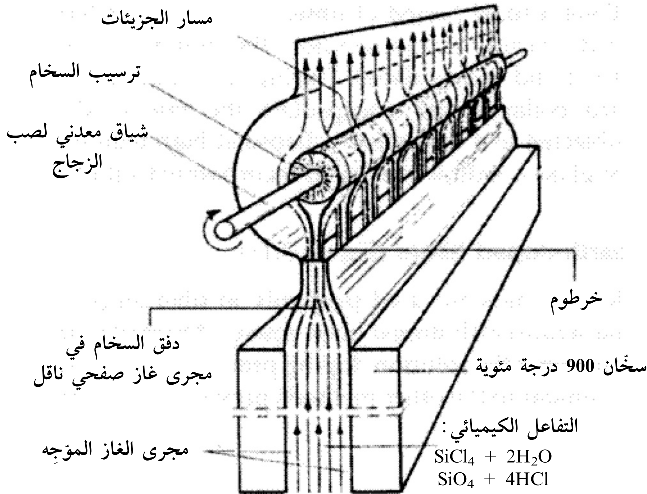
الشكل 3-11 توضيح عملية سحب الليف.

وتُجرى بعدئذٍ عملية التصفيح البلاستيكي لليف الزجاجي، الذي يجعل التعامل مع الليف سهلاً، ويحميه من الفقد الناتج من الالتواءات فائقة الصغر، ومن اَلضرر الميكانيكي، ويصل قُطر الليف الخارجي عادة إلى حوالى 280 ميكرومتر. وفي حالات خاصة (مثل، السلك الحاجز الخفيف Light Buffer Tube)، يصل قُطر الغلاف الخارجي إلى 500 ميكرومتر.

من أجل تحسين القوة، ومقاومة الإجهاد والتوهين الناتجين من كمية الهيدروجين الزائدة وللحماية من التآكل بسبب المواد الكيميائية مثل حمض الهيدروفلوريك، يوضع عازل بين الزجاج والغلاف. وتوضع الأغلفة الأخرى مثل السليكون ومادة التفلون ومادة متعدد رباعي فلورو الإيثيلين (Poly Tetrafoluoroethylene) من أجل السماح

باستعمال الليف عند درجة حرارة عالية (مثلاً 200 درجة مئوية). وتجعل هذه الأغلفة المعدنية تجاوب مجسات الليف أقوى مع الحقول المغنطيسية والضغوطات الأخرى.

إن إحدى المشاكل الناتجة من صنع الليف بهذه الطريقة هي الانحدار غير المرغوب فيه في معامل الانكسار والناتج داخل منطقة اللب المركزي. وينتج هذا من التسخين الشديد اللازم لتداعي القضيب وسحب الليف، ذلك أن الحرارة تجعل مادة التطعيم (أي ثاني أكسيد الجرمانيوم) تتبخر بعيداً عن السطح الداخلي للأنبوب. ويتسبب الانحدار في معامل الألياف متعددة الأنماط بتراجع كفاءة الإقران وفي سعة الموجة، وإضافة إلى ذلك بأخطاء في القياسات. وأما في الليف مفرد النمط فينتج من الانحدار زيادة في حساسية التقوس فائق الصغر وتغيرات في موجة الانقطاع (Cut-off Wave) أو تغييرات في أقصر طول موجة يمكن للنمط الأساسي لدليل الموجة البصري أن ينتقل من خلالها.



الشكل 3-12 الترسيب الخارجي الكامل لإعداد عجينة زجاج حسب الطلب

في محاولة للتغلب على هذه المشاكل، طَوّرت شركة أي. إي. جي تليفنكن (AEG Telefunken) طريقة أكثر فعالية لإضافة مادة التطعيم، وهي الترسيب الخارجي الكامل (Full Length Outside Deposition) أو (FLOD). ويبين الشكل 3-12 الطريقة التي تُجرى بها العملية.

بالإضافة إلى الإبقاء على ثبات معامل الانكسار عبر الليف، فإن الميزة الأخرى لهذه الطريقة (الترسيب الخارجي الكامل)، هي أنها لا تحتاج إلى حرارة عالية لتتم. ففي هذه العملية، يجري أولاً إنتاج جسم زجاجي ذي مناطق مركزية تحتوي على عدد من طبقات الزجاج المطعم، لدى كل واحدة منها معامل انكسار مختلف عن الآخر. ويُسخّن الجسم الزجاجي ليصبح ليناً، ومن ثم يسحب على شكل ليف زجاجي، ويتم احتواء فراغ جزئي في مركز الجسم الأنبوبي المجوّف خلال عملية السحب. علماً أن حجم هذا الفراغ الجزئي كافٍ لتقليص تبخر مواد التطعيم من داخل الجسم الأنبوبي، ما يُقلّص بشكل فعال من حدة انحدار معامل الانكسار في مركز الليف البصري.

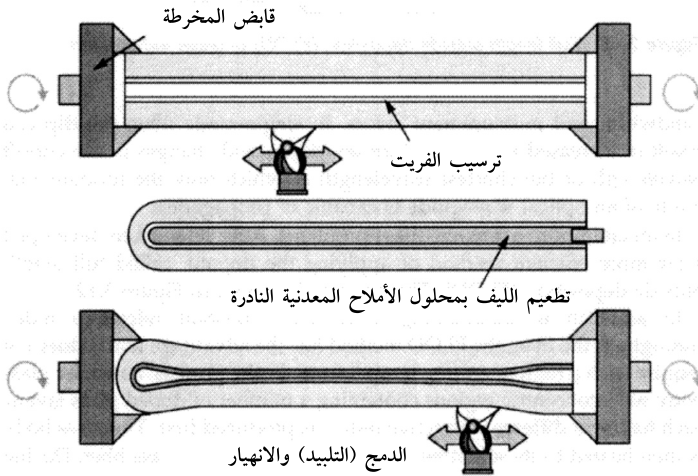
يجري، في بادئ الأمر ترسيب التصفيح البصري الذي يحتوي على مادة السليكا المنصهرة داخل أنبوب الركيزة، ومن ثم يجري ترسيب مواد اللب التي قد تحتوي على الجرمانيوم عند درجة حرارة منخفضة لتشكيل طبقة ناضحة تعرف بالفريتة «Frit».

من بعد عملية ترسيب الفريتة هذه، يُغلق طرف واحد من الزجاج شبه الكامل المشكل حسب الطلب، ويُزال من المخرطة، وتضاف الأملاح المعدنية النادرة (Rare-Earth Elements) الملائمة (مثل، عنصر النيوديميوم، والإيربيوم، وعنصر الأتيربيوم... إلخ) إلى الفريتة بشكل محلول. ويترك هذا المحلول ليتخلّل الفريتة لفترة

محددة من الوقت، ومن ثم يعاد الزجاج لتجفيفه ودمجه من بعد أن يُتخلص من المحلول الزائد. وتتداعى الفجوات في الطلاء خلال عملية الدمج وتقوم بتغليف الأملاح المعدنية النادرة. ومن ثم يوضع الزجاج المشكل حسب الطلب في حالة تداعي متحكم بها وعلى درجة حرارة عالية لتشكل قضيب زجاج صلب ذي لب مطعّم بالأملاح المعدنية.

3-4-3 الألياف المطعمة بالأملاح المعدنية

يستعمل هذا النوع من الألياف بشكل أساسي في مضخمات الألياف (Fiber Amplifiers) والليزرات الليفية (Fiber Lasers). ولصنع ليف مطعم بالأملاح المعدنية يجب أن نبدأ بعجينة الزجاج المطعم بالأملاح المعدنية بعملية التذميم أو التنشيط (Doping). علماً بأن عملية تصنيع الليف الحقيقية تبقى شبيهة بعمليات التصنيع التي ذكرناها سابقاً.

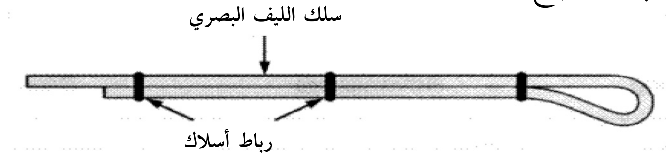


الشكل 3-13 ألياف مطعمة بأملاح معدنية

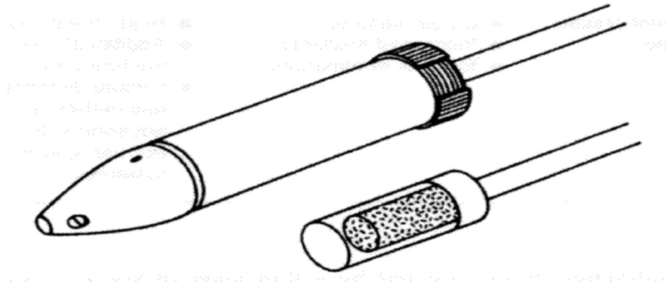
3-4-4 ختم الغطاء (إحكام سدّه)

لتسهيل مهمة سحب الليف البصري عبر فتحات التمديدات الداخلية، توضع سدادة أو غطاء عند طرفي الليف. وعندما يتعذّر ذلك، أو لدى استعمال قطع من السلك قصيرة، فبالإمكان تكوين شبيه لهذا الغطاء يسمى «بالعين»، من خلال ليّ طرف الليف كما هو ظاهر في الشكل 3-14.

تكون هذه السدادة شفافة في أسلاك الليف البصري الصغيرة الحجم (الشكل 3-15) بحيث يكون بالإمكان إضاءة الألياف داخل فتحات التمديد الداخلية من أجل تسهيل عملية فحص الأضرار بعد التركيب. . . إلخ.



الشكل 3-14 ليف بصري ذو «عين» يدوية الصنع لتسهيل عملية السحب.



الشكل 3-15 سدادة شفافة ذات رأس للسحب.

3-5 كابلات الألياف البصرية البلاستيكية

من الممكن صنع ألياف من البلاستيك الشفاف ما يؤمن قُطر

صغير (ملم واحد)، ومرونة كبيرين. كما إنه بالإمكان قطع الأطراف البلاستيكية باستعمال شفرة حادة، فإن هذه الألياف سهلة الإنهاء. ولسوء الحظ وبسبب الفقد العالي الكامن فإن استعمال هذا النوع من الألياف محصور بعدة أمتار فقط وضمن بيئة محميّة من درجات الحرارة العالية.

تؤمن الألياف البصرية البلاستيكية حماية من الضوضاء، كما إن وزنها وحجمها خفيفان، فهي منافسة للسلك النحاسي المدرع، ما يجعلها ملائمة للاستعمالات الصناعية ولا سيّما في المعامل. . . إلخ.

ملاحظة: إن للألياف البصرية البلاستيكية قدرة تشغيل مستمرة ضمن معدل درجات حرارة تتراوح بين 55 درجة مئوية تحت الصفر (أي -167^{o} F) و85 درجة مئوية (أي 185 فهرنهايت). إن معظم الألياف البصرية البلاستيكية قادرة على تحمل درجة حرارة مقدارها 100 درجة مئوية (أي 212 فهرنهايت) لمدة قصيرة من الوقت (أقل من دقيقة).

إن لهذا النوع من الأسلاك العاكسة كلياً بنية مركزية مزدوجة تتألف من لب شفاف مصنوع من مادة بولي مثيليميثكريلات المتعدد (Polymethylmethcrylate) ذات معامل انكسار عالية مغطاة بطبقة تصفيح شفافة خاصة ذات معامل انكسار منخفض.

جدول 3-3 محاسن ومساوئ مختلف أنواع تصفيح الليف:

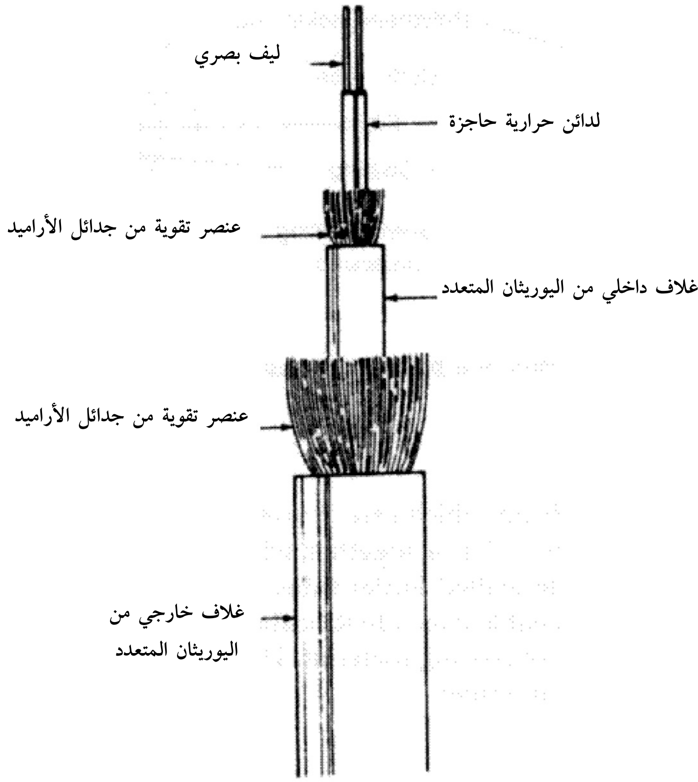
نوع التصفيح	المحاسن	المساوئ
زجاج/ ليف زجاجي	● شق نظيف السطح	● أقل مرونة من الليف البلاستيكي.
	● المحافظة على الميزات البصرية.	● عرضة للضرر.
بلاستيك شفاف/ ليف بلاستيكي	● قُطر أكبر.	● فقد عالٍ كامن.
	● مرونة أكبر.	● فقد إضافي في منطقة الشق.
	● سهولة الإنهاء والتركيب.	● مسافة محدودة لعدة أمتار فقط ضمن بيئة ذات درجة حرارة معينة.

إن ميزات إرسال الضوء في الليف البصري المصنوع من السليكا أفضل (فقد أقل) من ميزات الليف البصري البلاستيكي. ومن ميزات ليف السليكا أنه قادر على تحمل درجات حرارة عالية أكثر من الليف البلاستيكي. ولكن في المقابل، فإن الليف البصري البلاستيكي أكثر مرونة وأقل عرضة للكسر وسهل التصنيع بأشكال وتركيبات معينة، كما إنه أقل كلفة من الألياف الزجاجية.

والميزة الأخرى لـ زجاج/ ليف زجاجي هي إمكانية الحصول على شق نظيف جداً عند السطح، ما يضمن الحفاظ على الخصائص البصرية في تصفيح الليف داخل الموصّل وصولاً إلى الطرف الآخر لليف. أما بالنسبة إلى بلاستيك/ليف زجاجي فستتعرض منطقة الشق في البلاستيك لفقد إضافي بحيث لا يتبقى لديها مناطق امتصاص فائقة الصغر عند الجهة الأخرى من الليف حتى بعد الصقل والتلميع (الجدول 3-3).

3-6 ميزات وصفات الكابل

إن صفتين من أهم الصفات المرافقة لتركيب أسلاك الألياف البصرية هي قُطر الالتواء والقُطر الحارف (Deflecting Diameter)، وقُطر التواء سلك الليف البصري هو الحد الأقصى المسموح به لالتواء الليف من دون حصول أي ضرر للتوصيلات. أما القُطر الحارف فهو الحد الأدنى المسموح للقُطر لسحب السلك أو توجيهه في الوقت الذي يكون فيه السلك نفسه معرضاً لقوة شد عالية.



الشكل 3-16 بنية سلك الليف البصري المتعدد الألياف المقوى، والمناسب للبيئات الصعبة (كالاستخدامات العسكرية).

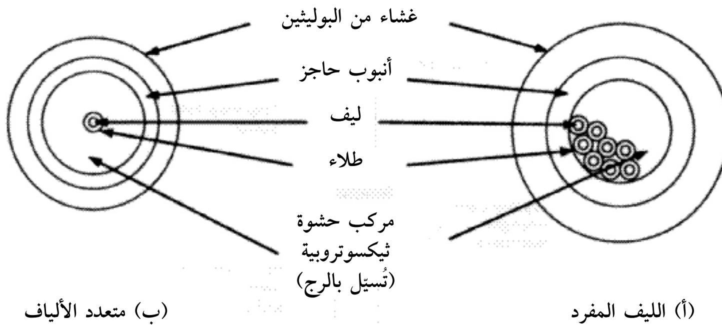
حتى لو كانت بنية السلك مؤلفة من مواد عازلة (أي غير معدنية)، فإنه بالإمكان ليّ الأسلاك بمقدار شعاع (قُطر) صغير نسبياً من دون إلحاق أضرار في الألياف. مثلاً، بالإمكان حني الأسلاك التي لا يزيد قُطرها الخارجي عن 30 ملم لتكون دائرة قُطرها 400 ملم. إلا أن الأسلاك ذات البنية المعدنية لا يوجد لديها المرونة نفسها وذلك لأنها تتضمن درعاً واقياً، أو صفائح رقيقة من الألمنيوم أو موصلات نحاسية.

3-6-1 مقاومة الشد في الكابل

تتضمن معظم الكابلات في يومنا هذا جدائل من الأراميد المقاوم للجهد العالي ذي استطالة منخفضة مغلفة بغلاف خارجي من عناصر تقوية إضافية (الشكل 3-16). ولكي تتلائم هذه المقوّيات مع المتطلبات المتنامية للكابلات القابلة للاستعمال الثقيل، فإن هذه الأسلاك المقوّاة لديها مقاومة فائضة لجهد شدّ يبلغ 250 باوند.

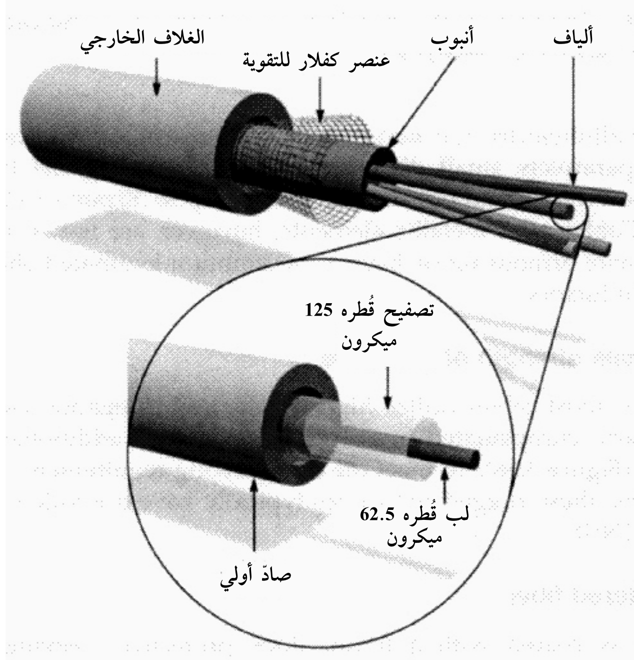
3-6-2 الليف الصاد

يجري طلي الليف بطبقة عازلة للحماية تبلغ سماكتها 60 ميكرومتر باستعمال مادة أكريليت البوليثين المترابطة تصالبياً بفعل الأشعة فوق البنفسجية (Polythene, Ultraviolet Cross-Linked Acrylate)، أو مواد أخرى شبيهة، ومن ثم توضع وحدها (وبهذه الحالة تعمل عمل سلك متحد المحور (Coaxial Cable) (الشكل 3-17 - أ) أو توضع مع عدد من الألياف (الشكل 3-17 - ب)، داخل أنبوب صاد ذي حائط مزدوج.



الشكل 3-17 بنى سلك الليف البصري الصاد

ولتسهيل تمييز الألياف عن بعضها، يرمز لكل ليـف بلون معين من مادة طلائية رقيقة سماكتها ميكرومترين (2μm). ولا يؤثر هذا الطلاء على خصائص الليف البصرية.



الشكل 3–18 مثال على تركيب سلك الليف البصري.

ومن ثم تُغلّف الألياف بحشوة من مركب بولي أيزوبيوتيلين (Polyisobutylen) لتأمين حاجز إضافي بين الألياف والأنبوب الحاجز. ويساعد مركب الحشوة (Thixotropic Filling) (غاز، أو عجين، أو جيلاتين. . . إلخ) في تحمل كثير من الحالات البيئية، ولاسيما درجات الحرارة التي تتراوح بين −30 درجة مئوية إلى 70 درجة مئوية. وبسبب هذا المدى الحراري الكبير، فإنه من الضروري جداً أن لا تتجمد هذه الحشوة، أو تنتفخ، أو تتلف.

كما يجب أن تكون قابلية احتراق الأنبوب الحاجز غير مثيرة للقلق أيضاً، وأن يكون الأنبوب سهل التنظيف. إن الأنبوب ومركب الحشوة يمكننا اللب والألياف أن يتكيفا مع مجموعة واسعة من الإجهادات. كما إنها مقاومة للصدمات. وقد أظهرت التجارب السابقة أن سماكة الأنبوب الصاد (Buffer Tube) يجب أن تبلغ حوالى 15 في المئة من سماكة قُطر الحاجز الكلي، كما إن القُطر الخارجي لحاجزات الليف مفرد المجموعة في سلك واحد يجب أن يبلغ 1.4 ملم، بينما تبلغ سماكة القُطر الخارجي لليف الصد حوالى 3 ملم. ويُغلف السلك بعدئذ بمادة مقوّاة من البولي أثيلين (أو أي مادة مشابهة له، مرنة ومقاومة للتلف) بمرور الوقت وذات معامل توسع (Coefficient of Expansion) يبقى منخفضاً نسبياً خلال تعرضه لمدى واسع من درجات الحرارة، ما يسمح بوضع الأسلاك في فتحات التمديدات في الجدران وإمكانية سحبها عبر هذه الفتحات بطريقة مشابهة لسحب الأسلاك النحاسية. كما إنه بالإمكان أيضاً إضافة عنصر كفلار للتقوية كما هو مبين في الشكل 3-18.

3-7 أنواع الكابلات

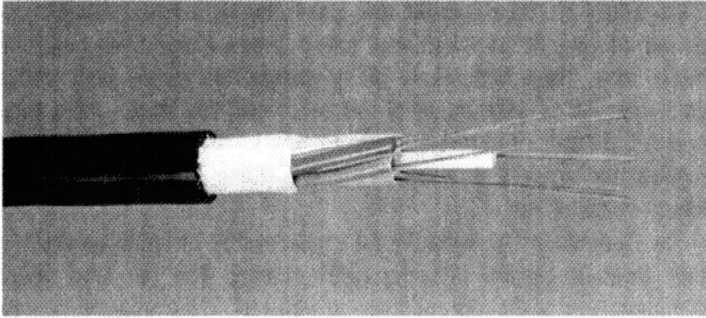
هناك ثلاثة أنواع رئيسة من تصاميم الكبلات هي:

3-7-1 كابل الصد المحكم

إن كبلات الصد المحكم أو (الأنبوب المجدول) مصنوعة من أنابيب صادّة رخوة مجدولة حول عنصر التقوية المركزي العازل (Dielectric) غير المعدني أو المعدني. وهي صغيرة الحجم ومضغوطة، وغير مكلفة نسبياً. كما إنها أكثر الأنواع استعمالاً في سوق الاتصالات البيانية (Data Communication).

3-7-2 الأنبوب الرخو

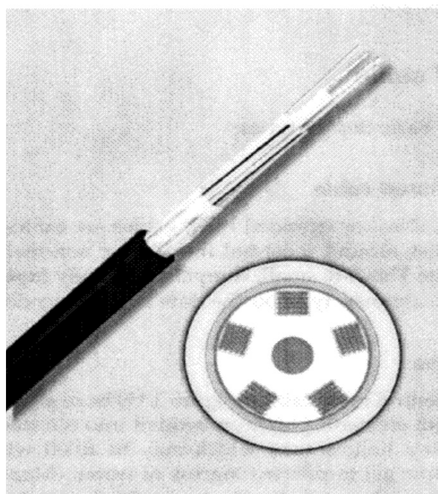
إن كابل الأنبوب الرخو (أو الأنبوب المركزي) (الشكل 3-19) أنبوب حاجز رخو مركزي (Central Loose Buffer Tube)، يحتوي على عناصر تقوية موضوعة بشكل جزئي في التغليف. ويوضع الليف في الأنبوب الفارغ من دون تثبيت، ويُملأ الأنبوب بمادة جيلاتينية تتأثر بالضغط لمنع دخول الماء. إن بالإمكان وضع كثير من هذه الأنابيب مع بعضها بعضاً ضمن تغليف واحد لتُصبح كابلاً واحداً). ويُستعمل هذا النوع عادة في تطبيقات الاتصالات السلكية واللاسلكية وفي الروابط الرئيسة والربط بين المباني.



الشكل 3-19 ليف من أنبوب رخو (تقدمة شركة براند ريكس Brand-Rex).

3-7-3 كابل اللب المثقب

إن لهذا الكابل (الشكل 3-20) أخاديد لولبية قادرة على حِمِل عدد من الألياف. وتكمن مشكلة هذا النوع من الكابلات في صعوبة تأمين حماية كافية له عند نقاط الوصل (Junction Points).



الشكل 3-20 مثال على تكنولوجيا ليف اللب المثقب، غير المعدني (تقدمة شركة كورنينغ لأنظمة الأسلاك)

الجدول 3-4 الرموز اللونية المستخدمة للتمييز بين الألياف البصرية الصادة

رقم الليف	اللون
1	أزرق
2	برتقالي
3	أخضر
4	بني
5	رمادي
6	أبيض
7	أحمر
8	أسود
9	أصفر
10	بنفسجي
11	وردي (أو أزرق فاتح)
12	فيروزي أي تركوازي (أو لا لون)

إن لدى هذه الكابلات عنصراً مركزياً ذا فتحات عمودية تحمل الألياف.

3-8 قنوات كابل الليف البصري

يُجمع عدد من الألياف البصرية عادة بترتيب عشوائي وتستعمل كعنصر إرسال واحد، وتسمى هذه برزمة الألياف (Fiber Bundles). وبالإمكان جمع الألياف ضمن مجموعات بطريقة مشابهة لطريقة جمع الكابلات النحاسية متعددة الأزواج (Multipair Copper Cables) ويتم احتواؤها عادة في قنوات بلاستيكية. ولتسهيل التمييز بين الألياف، فإن كل ليف يُرمز له بلون معين .ويُظهر الجدول 3-4 أمثلة كيف يرمز المصنعون للألياف باستخدام الألوان.

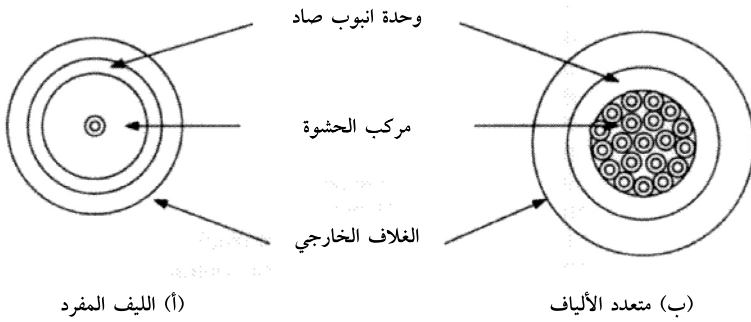
ملاحظة: إن كان هناك أكثر من 12 ليف في أنبوب واحد، فإن كل 12 ليف ترزم مع بعضها وتربط بشريط ملون.

3-8-1 تمييز الأنبوب

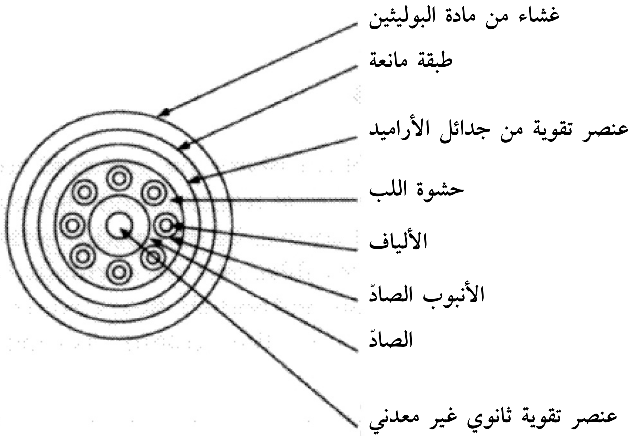
إن النظام الطبيعي لتمييز الأنابيب هو نظام «التوجيه الدليلي» (Pilot Directional). إن لون الأنبوب الدليل (Pilot Tube) أحمر، أما الأنبوب المُوجّه فلونه أخضر، وأما الأنابيب فلها ألوان طبيعية أخرى.

3-9 بناء الكابل

تختلف طرائق تصميم بناء كابلات الألياف البصرية بطبيعة الحال من مُصنّع إلى آخر، ويبين الشكل 3-21 والشكل 3-22 المخطط العام للكابلات ذات السعة الكبيرة والمتوسطة.

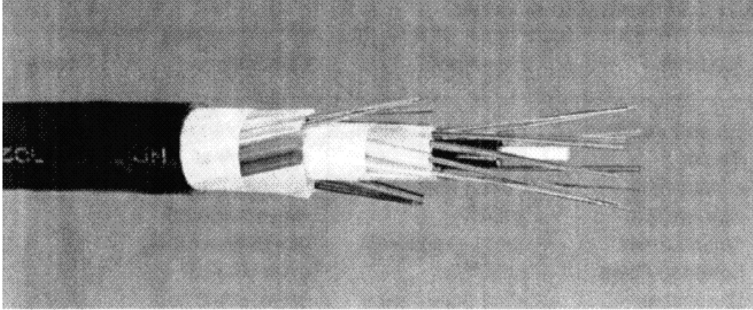


الشكل 3–21 ظهر بنية كابل ليف بصري متوسط السعة



الشكل 3–22 يظهر بنية كابل ليف بصري ذا سعة كبيرة

بالإمكان تقوية الكابل باستعمال نوع معين من عناصر التقوية، مثلاً عنصر كفلار، الذي يوضع إما بشكل حلزوني أو بشكل جدائل حول غلاف الليف. ويحاط هذا العنصر بغلاف خارجي قاسٍ لتأمين الحماية المطلوبة من الأضرار الميكانيكية والبيئية (الشكل 3–23).



الشكل 3-23 مثال على أنبوب الليف الرخو كثير الألياف (تقدمة شركة براند - ركس)

3-10 أنواع الكابلات الأنبوبية (أو القنوية)

هناك كثير من أنواع الكابلات الأنبوبية تتوافر في السوق اليوم. ومنها:

3-10-1 كابل الأنبوب الخارجي

ميزات	خصائص	توصيفات	صورة الليف
ألياف أنبوبية غير معدنية، عازلة للماء، ألياف ملونة؛ مغلفة بمادة الإثيلين المتعدد (بولي اثيلين)	عدد الألياف: من 2 إلى 36. جهد السحب: 1000 نيوتن. درجة الحرارة التي يمكن تحملها: من $20\ ^{o}C$ إلى $60^{o}C$. نصف قُطر الإلتواء: 100 ملم عازل للماء: IEC 708-1 الضغط: 1000 نيوتن عبر صفائح ذات قياس 50 × 50 ملم.	يحتوي الأنبوب الرخو على مادة جيلاتينية (غير نفطية). ويستخدم هذا الكابل في الاستعمال الخارجي، وفي فتحات التمديدات المبللة. إن البنية غير المعدنية تزيل المشاكل التي قد تسببها الفولتات المستحثة الناتجة من الصواعق الكهربائية.	

3-10-2 كابلات الأنابيب القنوية العامة

ميزات	خصائص	توصيفات	صورة الليف
ألياف أنبوبية رخوة، غير معدنية، عازلة للماء، ألياف ملونة؛ غلاف خالٍ من الهالوجين (LSHF)	عدد الألياف: من 2 إلى 36. جهد السحب: 1000 نيوتن درجة الحرارة التي يمكن تحملها: من $-20\,^{o}C$ (سالب) إلى $60^{o}C$. نصف قُطر الإلتواء: 100 ملم. عازل للماء: IEC 708-1 الضغط: 1000 نيوتن عبر صفائح ذات قياس 50×50 ملم.	إن هذا الكابل يجسد كل خصائص العزل غير المعدني للماء الموجودة في كابل الأنبوب الخارجي. ويتضمن غلافاً خارجياً خالياً من الهالوجين صمم ليتلاءم مع إجراءات الحرائق الداخلية، ما يسمح بوضعه في داخل المبنى وفي الأماكن الرطبة.	

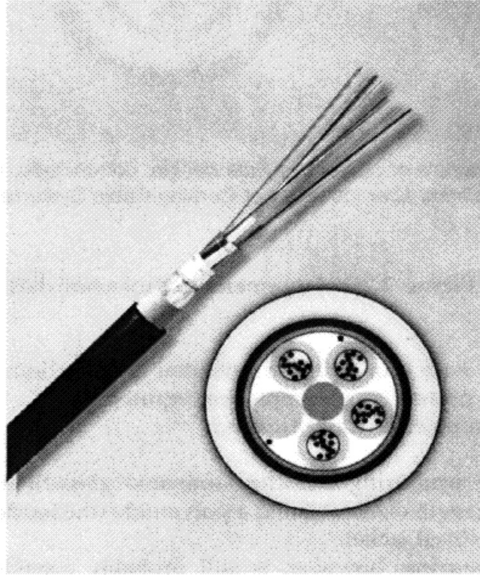
3-10-3 الكابل العام المقوى

ميزات	خصائص	توصيفات	صورة الليف
ألياف أنبوبية رخوة، غير معدنية، عازلة للماء، ألياف ملونة؛ غلاف خالٍ من الهالوجين، مقاومة لجهد الشد، بنية غلاف مقوّاة (LSHF)	عدد الألياف: من 2 إلى 36. جهد السحب: 2000 نيوتن درجة الحرارة التي يمكن تحملها: من $-20\,^{o}C$ إلى $60^{o}C$ (سالب). نصف قُطر الإلتواء: 100 ملم عازل للماء: IEC 708-1 الضغط: 1000 نيوتن عبر صفائح ذات قياس 50×50 ملم.	صمم هذا الليف ليتلائم مع المتطلبات الداخلية، والظروف الخارجية الصعبة والسلامة. ويتضمن كل خصائص الحماية من البيئة المحيطة للكابل المقوى. ويتضمن غلافاً خارجياً خالياً من الهالوجين. صمم ليتلاءم مع إجراءات الحرائق الداخلية.	

ملاحظة: إن قُطر الليف مهم جداً. فإن أي زيادة في قُطر الليف سيُقلّص من مشاكل التحمل، غير أن الصعوبة تكمن في صنع شق ذي سطح نظيف. كما إن مرونة الليف تقل وتزداد كلفة الصنع.

3-10-4 الحماية من الماء

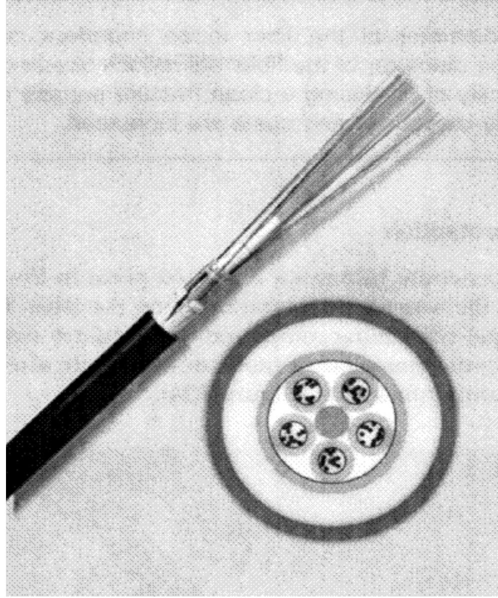
إذا اخترقت المياه الكابل من خلال نقطة متضررة في الغلاف، فإن بإمكان حشوة خاصة أن تمنع الماء من الانتقال داخل الكابل، وذلك من خلال استعمال نوع من مركب الجيلاتين و/ أو عنصر جاف قابل للانتفاخ عند تعرضه للماء. ومن أجل حماية إضافية ضد الرطوبة، فإن هذه الأسلاك تتوافر مع صفائح ألمنيوم في الغلاف أيضاً (الشكل 3-24).



الشكل 3-24 مثال على تصميم أنبوب مجدول غير معدني ذي عنصر مركزي ولب جاف، وحاجز يمنع الرطوبة (تقدمة شركة كورنين لأنظمة الأسلاك)

3-10-5 الحماية من القوارض

تعد الأضرار التي تتسبب بها القوارض مشكلة بالنسبة إلى الأسلاك المطمورة في الأرض مباشرة، أو عندما تكون في أنظمة التهوئة وفتحات التمديدات الداخلية. ويمكن حماية هذه الكابلات من خلال وضع درع غير معدني وسترات واقية مصنوعة من مادة البولي أميد (Polyamid) (الشكل 3-25).



الشكل 3-25 مثال على تصميم أنبوب مجدول وغير معدني مع حماية من القوارض وليف مقاوم للمواد النفطية (تقدمة كورنين لأنظمة الأسلاك)

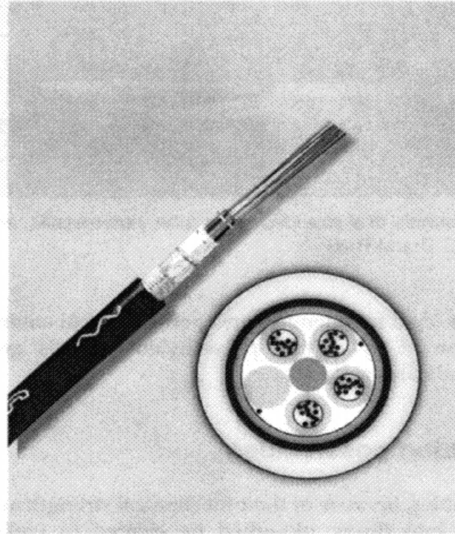
وللحماية غير المعدنية فوائد وهي:

- عدم الحاجة إلى تفريغ الشحنات بالتأريض، ولا حاجة إلى المعادلة الجهدية (Potential Equalization).
- عدم الحاجة إلى إجراءات وقائية من الصواعق الرعدية.
- يمكن عزل المباني كهربائياً.

تتضمن الدروع غير المعدنية صفائح زجاجية من ألياف مجدولة (بإمكانها أن تعمل عمل عنصر التقوية أيضاً)، كما تتضمن أيضاً سترة من مادة البولي أميد (Polyamide) (وهو أقسى أنواع البلاستيك المستخدم لتغليف الأسلاك). إلا أن الدرع المعدني، يعتبر أكثر فعالية من ناحية الحماية من الأضرار التي قد تتسبب بها القوارض، ولكنه مكلف إلى حد ما.

3-10-6 التدريع المعدني

عندما يدفن الكابل في الأرض مباشرة (أي عندما لا توجد قنوات أو أنابيب لتمديد الكابلات يمكن استعمالها، أو أن عملية تمرير الكابلات في هذه القنوات غير مناسبة)، فيجب أن يكون هناك عامل تقوية إضافي للكابل الليفي، وذلك باستعمال نوع من الدروع المعدنية مثل الشريط المعدني المُقوّى تحت الغلاف الخارجي مباشرة (الشكل 3-26).



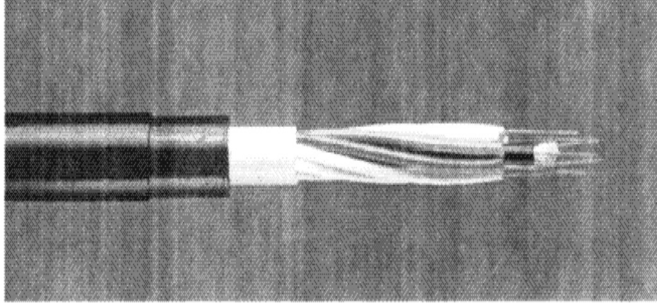
الشكل 3-26 مثال على تصميم أنبوب مجدول غير معدني مع حماية من القوارض وليف ذي شريط معدني متجعد تحت الغلاف الخارجي مباشرة (تقدمة كورنين لأنظمة الأسلاك)

ويُستعمل طلاء خاص لربط الغلاف الخارجي بالشريط المعدني، وعندما يكون الحمل الميكانيكي عالياً جداً يجري إدخال غلاف داخلي تحت الشريط المعدني لإضافة مزيد من القوة.

3-10-7 كابلات البيئات الخطيرة

من المستحسن في الأماكن الخطيرة مثل المطارات أو خطوط الطاقة الكهربائية ذات فولتية عالية استعمال درع لحماية الليف، ولكن بسبب أخطار الصواعق الكهربائية، فإنه من المفضل استعمال بنية غير معدنية. (الشكل 3-27).

في هذا المثال بالتحديد، يوضع ليفين بصريين ملوّنين مطليين في أنبوب من البوليستر المملوء بالجيلاتين (Gel-Filled Polyester Tube). ويمكن جدل ما يصل إلى 12 أنبوب من هذه الأنابيب بشكل حلزوني حول عنصر التقوية المركزي غير المعدني. ومن ثم تُملأ الفراغات بين هذه الأنابيب بمركب خالٍ من الهالوجين مانع لدخول الماء. ويُصنع الغلاف الداخلي من مادة البولي أثيلين (Polyethylene)، أما الغلاف الخارجي فيصنع من النايلون المقوى. إن هذه الكبلات مناسبة للاستعمال في جميع الظروف المناخية، كما إنها مقاومة للأضرار التي قد تتسبب بها الحشرات والقوارض. وكذلك فإنها ملائمة جداً للاستخدام في البيئات الكيميائية والبتروكيميائية لأن مزيج النايلون ومادة البولي أثيلين يؤمنان مقاومة جيدة ضد المواد الكيميائية والمواد المذيبة.



الشكل 3-27 مثال على تصميم كابل أنبوبي مدرع، مجدول غير معدني مع حماية من القوارض (تقدمة بي آي سي سي براند - ريكس)

3-11 إمكانات التركيب

بما أن كابلات الألياف البصرية قادرة على مقاومة الجهد الميكانيكي، وبما أن وزنها خفيف أيضاً، فإنه من الممكن سحبها في داخل قنوات أو حشرها في الأرض أو تثبيتها على الحائط أو أعمدة شاقولية قد يصل ارتفاعها إلى 1000 متر (وهذا بالتحديد مهم في المباني متعددة الطوابق والمناجم. . . إلخ). كما إن بالإمكان وضعها في حاملة أسلاك (Cable Trays) أو على الرفوف المستوية (Planar Shelves)، أو أن تعلق في الهواء بين المباني، أو مع خطوط الطاقة الكهربائية، أو حتى تحت الماء (في الأنظمة الأوقيانوغرافية Oceanographic Systems).

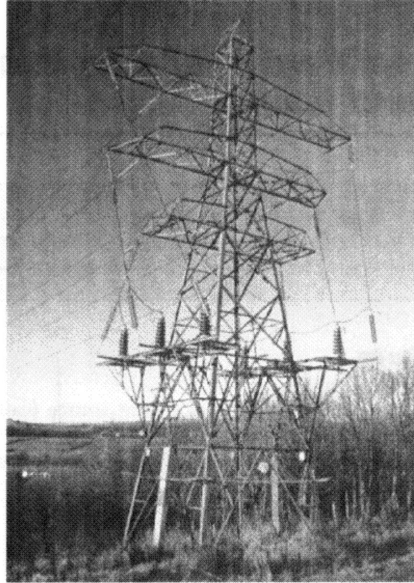
لا تعتمد الطريقة المستخدمة لتنصيب الكابلات على البيئة فقط، بل على طول السلك الذي سيجري تركيبه. وفي يومنا هذا، فإن أكثر الطرق استخداماً لتنصيب الأسلاك القصيرة الطول في أنظمة مليئة بالأسلاك الأخرى هي باستعمال الهواء المضغوط، وذلك لحقن حبل مساعد (Auxiliary Rope). ويتم وصل هذا الحبل بعدئذ برافعة موصولة بكابلات الليف البصري.

طبعاً، يجب ضم أنظمة التهوئة وقنوات تمديد الكابلات ضمن

خرائط المباني الجديدة. إن سعر قنوات التمديد هذه ليس غالياً، ويمكن تصميم المبنى بحيث يتضمن نظام قنوات لتمديد الكابلات قابل للتوسيع وغير مكلف ليتناسب مع متطلبات الاتصالات المتغيرة.

ولأن أسلاك الألياف البصرية خفيفة جداً، فإنه من الممكن دمجها مع خطوط الطاقة من دون إضافة أي ثقل كبير على عمود الكهرباء (الشكل 3–28). وبما أن الليف البصري لا يحتوي على أي نوعٍ من المعادن، فإن ذلك يلغي إمكانية حصول تداخل مستحث (Inductive Interference).

إن عملية تركيب كابلات الألياف البصرية مشابهة لعملية تركيب الأسلاك النحاسية إلا أن الليف البصري يربط بالمُوصلات الطورية (Phase Conductors) فقط، أو أسلاك تفريغ شحنات خطوط الطاقة الكهربائية.



الشكل 3–28 كابلات ألياف بصرية موضوعة على أبراج حاملة للخطوط الكهربائية (تقدمة دايفد سكوت David Scott)

3-11-1 التدريب على الاستعمال

إن الطرق المستخدمة في عملية تنصيب الكابلات النحاسية شبيهة تقريباً بالطرق المستخدمة في عملية تنصيب الكابلات الألياف البصرية. كما إن استعمال كابلات الألياف البصرية لا يحتاج إلى تدريب معين إلا في مجال الصيانة الميدانية.

تم في هذا الفصل وصف الأنواع المختلفة من الكابلات المتاحة، (مثل ليف مفرد النمط، وليف متعدد الأنماط، وليف معامل الانكسار، وليف معامل الانكسار المتدرج، والليف الزجاجي أو البلاستيكي)، كما وتطرق الفصل إلى الخصائص المتعددة للكابلات وعملية تصنيعها وتصميم دليل الموجة البصرية. أما في الفصلين الرابع والخامس، فسنتكلم عن المعدات المستخدمة لإرسال واستقبال الإشارة البصرية عبر سلك الليف البصري.

الفصل الرابع

المرسلات ـــ الليزرات والصمامات الثنائية الباعثة للضوء

في الفصل السابق جرى وصف خصائص، وبُنى وتوفر كابلات الألياف البصرية. أما في هذا الفصل فسنتحدث عن المعدات المستخدمة لإرسال الطاقة البصرية عبر دليل الموجة البصرية.

4-1 مصدر الضوء

يوجد مصدر ضوئي عند طرف كل وصلة من وصلات الليف البصري (يسمى ناقل الطاقة الإلكتروبصرية (Electroptical Transducers) يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة وبالعكس. والمتطلبات المثالية لهذا المصدر الضوئي هي:

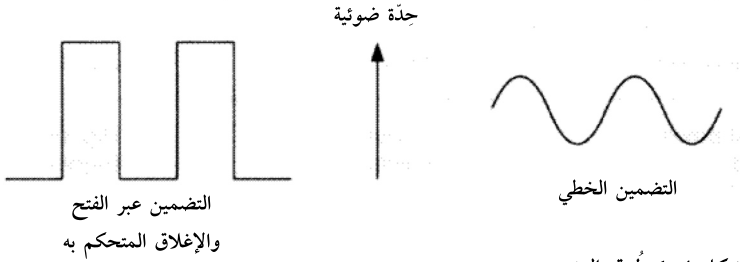
- بقعة صغيرة الحجم.
- قدرة تبديل (Switching) سريعة.
- حدة عالية.
- ضوء أحادي اللون (Monochromatic).
- أن يعمل بأطوال موجة تتراوح بين 800 و1600 نانومتر.

4-2 تحويل الطاقة الكهربائية إلى موجات ضوئية

إن مهمة المُرسل البصري (Optical Transmitter) الأساسية هي تحويل دخل الإشارات الكهربائية، إلى ضوء مُضمن (Modulated) ليرسل عبر الليف البصري. وبالاعتماد على طبيعة هذه الإشارة، فإن بالإمكان فتح أو غلق الضوء المُضمن الناتج، وهذا ما يعرف بالتضمين عبر الغلق والفتح (On/Off Modulation)، أو تغيير حدة الضوء ليصبح جيبياً بين مستويين محددين مسبقاً (Two Predetermined Levels). ويظهر الشكل 4-1 رسماً بيانياً لهذين المخططين الأساسيين.

يتم تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة بصرية من خلال استخدام جهاز إلكترو - بصري شبه موصل مثل الصِمام الثنائي الباعث للضوء (Light Emitting Diode - LED) أو الصِمام الثنائي الليزري.

وعلى الرغم من أن أشعة الصِمام الثنائي الباعث للضوء لا تضر عين الإنسان، إلا أن هناك خطراً محتملاً عند استخدام الليزر أو الصِمام الثنائي الباعث للضوء ذي الإشعاع العالي، وذلك بسبب الضرر الناتج عن هذين المصدرين من الأشعة عالية الحدة ولأن شبكية العين تمتص الطاقة الناتجة منهما. وبسبب هذا الخطر الصحي المحتمل، فإن على عمال التشغيل وضع نظارات للحماية من خطر الأشعة، وخصوصاً العمال الذين يتعاملون مع هذه المواد بشكل دائم. والعمل، كإجراء احتياطي، على عدم النظر مباشرة إلى المصدر الضوئي، أو الليف المشع الموصول بالطاقة من خلال الميكروسكوب.



الشكل 4-1 طُرق التضمين

إن المتطلبات الأساسية لأجهزة الليزر وأجهزة الصِمامات الثنائية الباعثة للضوء هي:

- أن تكون صغيرة.
- أن تكون متينة.
- أن تكون ذات عمر تشغيل طويل (مقارنة بالأجزاء الأخرى داخل النظام في الأقل).
- أن تبعث الضوء في منطقة التوهين المنخفض فقط في دليل الموجة البصرية.
- أن تكون لديها فعالية قرن عالية بين أشباه الموصلات ودليل الموجة البصرية.
- أن تكون ذات طاقة مشعة كبيرة (أي كفاءة تحويل كهربائي/ بصري).
- أن تكون قادرة على القيام بتضمين بسيط من إشارة الإرسال.
- أن تكون كلفة بنائها منخفضة.
- أن لا تستهلك الكثير من الطاقة.

ويُظهر الجدول 4-1 الفرق بين خصائص الصمام الثنائي الباعث للضوء والليزر.

3-4 الصمام الثنائي الباعث للضوء LED

إن لأشباه الموصلات المركبة من السليكون والجرمانيوم المتطلبات المذكورة أعلاه لدرجة معينة، وبما أنها هشة ولديها فولتية انهيار (Breakdown Voltage) منخفضة (بسبب حركة الإلكترونات الضئيلة). فقد صنعت من مادة زرنيخيد الغاليوم لمنحها مزيداً من القوة عند الاستخدامات المتكررة. وعلى الرغم من الكلفة العالية لتصنيع زرنيخيد الغاليوم، إلا أنها تمتلك فولتية انهيار عالية وحركة إلكترونات عالية. وبذلك، فهي أجهزة سريعة نسبياً توفر سعة موجية أعلى.

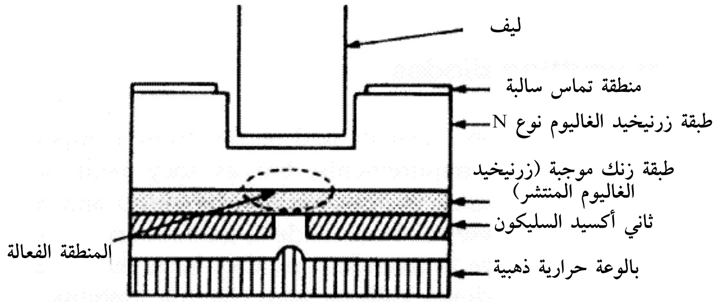
جدول 4-1 مقارنة بين ميزات الصمام الثنائي الباعث للضوء وميزات الليزر

الخصائص	الصمام الثنائي الباعث للضوء (LED)	الليزر
القدرة الناتجة	أكثر انخفاضاً	أعلى
السرعة	أكثر انخفاضاً	أعلى
الجهد الناتج	أعلى	أكثر انخفاضاً
الفتحة العددية	أكبر	أصغر
العرض الطيفي	أعرض	أضيق
القدرة على بث النمط المفرد	غير قادرة	قادرة
الطاقة الإنتاجية	أقل (MHz)	أعلى (GHz)
المسافة	أقصر	أطول
الكلفة	أكثر انخفاضاً	أعلى
سهولة الاستعمال	سهلة الاستعمال	صعبة الاستعمال
سعة موجة التردد	850 و1310 نانومتر	1310 و1550 نانومتر
الوسط	متعدد الأنماط	مفرد النمط

ويظهر الشكل 4-2 بنية صمام زرنيخيد الغاليوم الثنائي الباعث للضوء ذي إشعاعية عالية.

إن الصمامات الثنائية الباعثة للضوء هي بالأساس أشباه موصلات موجبة ـ سالبة (PN-Semiconductors)، ترسل الضوء عندما تكون في حالة انحياز أمامي (Forward Bias) (أي عندما يتم وصل الطرف السلبي للبطارية بالمواد السالبة نوع n). إن الانحياز الأمامي يتسبب بتوجه الإلكترونات والثقوب نحو بعضها وأن تعبر منطقة نضوب (Depletion Region) كثافة حاملات الشحنة في الوصلة. وتجتمع الفراغات (Holes) والإلكترونات، ما يتسبب ببعث الضوء، وتستمر الإلكترونات بالتدفق عبر الصمام الثنائي وتستمر كذلك عملية إعادة اتحاد الإلكترون الحر (Recombination) عند الوصلة طالما توفرت الفولتية.

لذلك، فإن الصمام الثنائي الباعث للضوء هو شبه موصل فعال جداً، يحوّل الطاقة الكهربائية إلى ضوء في عملية تسمى بالانبعاث التلقائي (Spontaneous Emission).



الشكل 4-2 صمام زرنيخيد الغاليوم الثنائي الباعث للضوء LED متجانس الوصلة ذو كفاءة إشعاعية عالية، صغير المساحة.

ملاحظة: عندما تكون الموجات الضوئية غير طورية (Not in Phase) (أي كما هو حال الضوء المنبعث من مصباح ضوئي عادي) فلا وجود لتغذية بصرية ارتجاعية. ويقال عن الضوء إنه ضوء مترابط الموجات أي في المرحلة نفسها (Coherent Light).

وتبعث الطاقة الناتجة في كثير من أشباه الموصلات نتيجة عملية إعادة الارتباط (Recomination) على شكل حرارة. ولكن في المواد المستخدمة في تصنيع الصمامات الثنائية الباعثة للضوء، تنتُجُ طاقة اعادة الارتباط على شكل فوتونات ضوئية تصدر عن مواد أشباه الموصلات.

إن المواد المستخدمة في تصنيع الصمام الثنائي الباعث للضوء (مثل الألومنيوم (AI)، والغاليوم (Ga)، والإنديوم (In)، والفوسفور (P) والزرنيخ (As))، تؤثر في طول الموجة المنبعثة وعلى كمية الطاقة الناتجة. كما وينتج من صمامات زرنيخيد الغاليوم الثنائية الباعثة ضوءاً يبلغ طول موجته 930 نانومتراً تقريباً. وبإضافة الألمنيوم يزداد حيز الموجة (Band Gap) ويُزاح الانبعاث إلى أطوال موجة تتراوح بين 750 - 900 نانومتر.

أما المركبات الأخرى لأشباه الموصلات (مثلاً زرنيخيد الغاليوم الفسفورية GaAsP) فينتج منها موجة بطول 650 نانومتر (ضوء أحمر مرئي)، وأشباه الموصلات المصنوعة من زرنيخيد غاليوم الألمنيوم الفسفورية (InGaAsP) ينتج منها أطوال موجة تبلغ 1300 و1550 نانومتر. ويندر استعمال الصمامات الثنائية في الأنظمة التي تعمل على موجة بطول تبلغ 1550 نانومتر.

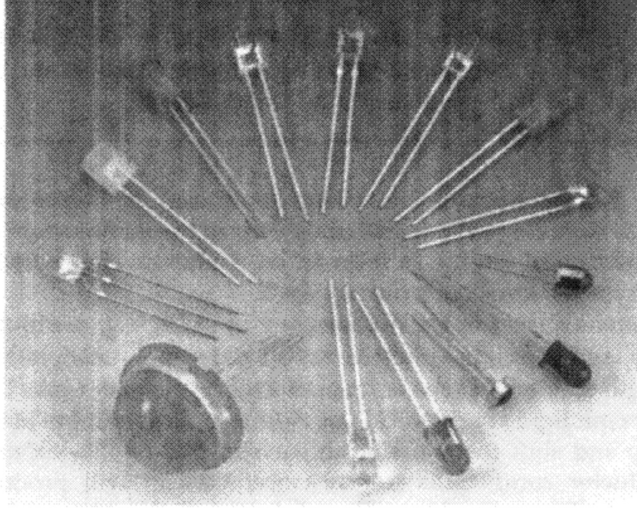
هناك عدد من المساوئ المرافقة لاستعمال الصمام الثنائي الباعث للضوء كمُرسل. منها، إن الإلكترونات يمكن أن توحد ثانية (Recombine) من دون أن ينتج منها ضوء، وستخسر طاقة بسبب تصادمها مع إلكترونات أخرى (تسمى الظاهرة «بتأثير البريمة» Auger Effect)، كما ويتسبب معامل انكسار الضوء العالي لأشباه الموصلات بانكسار كامل وانكسار جزئي للضوء عند السطح البيني للهواء/ أشباه الموصلات (Semiconductor/Air Interface).

وينتج من الصمام الثنائي الباعث للضوء البسيط (الشكل 4-3) ضوء ينبعث في كل الاتجاهات، غير أن هذه الصمامات مُصنّعة بحيث ينبعث الضوء من السطح بشكل قُمع واسع. ويمكن للتصميم الداخلي المعقد أن يُركز الانبعاث من الصمام الثنائي الباعث للضوء من السطح بحيث ينبعث الضوء من زاوية ضيقة (صمام بوروس الثنائي الضوئي Burrus Diode). كما يمكن للتركيبات الأخرى أن تجعل الضوء ينبعث من حافة الصمام الثنائي الباعث للضوء على شكل شعاع مركّز. ومع أن هذه التركيبات تنتج طاقة أكثر، إلا أنها تحتاج إلى دارة كهربائية أكثر تعقيداً للتخلص من الحرارة الزائدة. وبشكل عام، فكلما كانت بنية الصمام الثنائي الباعث للضوء أكثر تعقيداً كان الضوء المنبعث منه أكثر إشعاعاً وتسديداً، ويصبح كذلك تضمين الصمام الثنائي الباعث للضوء أسرع.

وبما إن متوسط عمر إعادة الاتحاد المسبب للإشعاع (Radiative Recombination) لا يزيد على عدة نانوثواني، وتكون السعة الموجية التضمينية للصمام الثنائي الباعث للضوء محصورة بعدة مئات من الميغاهرتزات، على عكس الصمامات الثنائية الليزرية، فإن تضمينها يمكن أن يصل إلى عدة جيغاهرتزات. وتكمن إحدى مساوئ الصمام الثنائي الباعث للضوء في فعالية القرن المنخفضة والكمية الكبيرة من التشتت اللوني الكامن (Inherent Chromatic Dispersion).

وفي الناحية الأخرى، فإن الميزة الرئيسة عند استعمال صمام ثنائي باعث للضوء في أنظمة الألياف البصرية هي أن القُطر الصغير للب الصمّام يسمح بقرن فعّال ومُحسّن للضوء في دليل الموجة البصرية وبعرض طيفي (Spectral Width) يبلغ 40 نانومتر. إن للصمام الثنائي الباعث للضوء سعة موجيّة تصل في الأقل إلى 100 ميغاهرتز وطاقة بصرية مُرسلة داخل الليف من حوالى 50 ميكرواط (50 μW). وتتضمن الميزات الأخرى:

- التصميم البسيط،
- سهولة التصنيع،
- التكامل البسيط للنظام،
- الكلفة المنخفضة،
- الجودة العالية.



الشكل 4-3 مجموعة من الصمامات الثنائية الباعثة للضوء (تقدمة LasIRvis).

مع أن الضوء والميزات الحالية للصمام الثنائي الباعث للضوء تعتمد على الحرارة والتعمير (Aging)، إلا أن بنية الصمام المُرسِل بسيطة نسبياً وتحتوي فقط على سواقة لتضمين الصمام (LED).

4-3-1 تحضير الصمام الثنائي الباعث للضوء

كانت الصمامات الثنائية الباعثة للضوء لسنوات خلت، وكما هو حال الترانزيستورات، تصنع بطريقة بسيطة بنشر عنصر ما على ركيزة بلورية. ومع تطور التقنيات لم تعد هذه الطريقة تستخدم حالياً ويُفَضل عليها استعمال الطرق الآتية:

• طبقات تقيلية منصهرة (Liquid-Phase-Epitaxi): تُستخدم الحرارة الشديدة (تصل إلى 800 درجة مئوية في حال استخدام زرنيخيد غاليوم الألمنيوم) لإذابة شريحة المصدر، وذلك لتأمين ترسيب بلوري على سطح الركيزة.

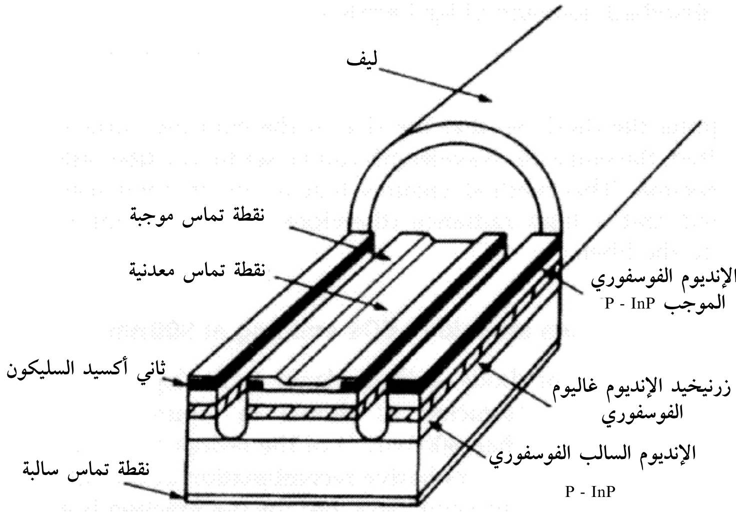
• مرحلة النمو التقيلي البخارية (Vapour-Phase-Epitaxi): تمرّر في هذه الطريقة عناصر البلورة على سطح ركيزة مسخن ومرسب بلورياً (Epitaxially).

• ترسيب بلوري بواسطة حزمة جزيئية تقيلية (Molecular-Beam-Epitaxi): تنقل المادة مباشرة إلى السطح الترسبي البلوري على شكل شعاع أيوني من مصدر مُسخّن لتغليف ركيرزة بلورة.

4-4 أنواع الصمامات الثنائية الباعثة للضوء

4-4-1 الصمامات الثنائية الباعثة للضوء من الحافة

تضمن تقنية تصنيع الصمام الثنائي الباعث للضوء من الحافة بأن يكون للوصلة الموجبة ـ السالبة (P-N Junction) الداخلية مدى منخفض من الطاقات المكافئة، بينما يكون لدى المنطقة الخارجية مدى عريض نسبياً للطاقات المكافئة. ويحد التركيب غير المتجانس والمزدوج لهذه الصمامات من إنتاج الفوتونات بحيث تصبح شعاعاً ضيقاً مركّزاً، وذلك أنها لا تستطيع عبور منطقة حاجز الجهد العالي (Higher Barrier Potential) المرافقة للمنطقة الخارجية على الرغم من أن لهذه الفوتونات طاقة كافية لتنتقل عبر وصلة الانحياز الأمامي الداخلية (Inner Forward Bias Junction). ويُظهر الشكل 4-4 بنية الصمام الثنائي الباعث للضوء من الحافة (Edge Emitting Diode).



الشكل 4-4 بنية الصمام الثنائي الباعث للضوء من الحافة

يحد العرض الضيق لبنية الإلكترود (Electrode) من الانتشار الجانبي، إذ إن لدى الطبقات الخارجية معامل انكسار أقل من معامل الانكسار في الداخل، كما هو الحال في تصفيح الليف، ما يساعد على حصر الفوتونات المنبعثة من خلال الانعكاس الداخلي. إن الصمامات الثنائية الباعثة للضوء من الحافة قادرة على إنتاج 30 ميكروات عبر الليف مفرد النمط، ما يتعدى قدرة معظم الصمامات الثنائية الباعثة للضوء التي تبلغ 5 ميكرواط.

إن لدى الصمامات الثنائية الباعثة للضوء من الحافة منطقة ناشطة (Active Region) سميكة نسبياً ينتج منها امتصاص ذاتي منخفض، ولديها كذلك إشعاع من الحافة أكبر بكثير من الإشعاع العمودي على الوصلة. ومن الممكن من خلال تغير المواد التي تصنع منها الوصلة الحصول على مدى طاقة مختلف، وبالتالي الحصول على أشعة مختلفة التركيز.

4-4-2 الصمامات الثنائية الباعثة للضوء ذات الإشعاع العالي

على الرغم من أن الصمامات الثنائية الباعثة للضوء العاملة في نطاق المنطقة الحمراء المرئية (900 نانومتر) مناسبة للتطبيقات البسيطة، إلا أن الأنظمة التي تعمل في منطقة الأشعة تحت الحمراء من الطيف قادرة على تأمين معدل إرسال يتغيير من عدة ميغابت في الثانية الواحدة إلى أكثر من 100 ميغابت في الثانية عبر مسافات فاصلة تتراوح بين 15 و20 كلم أو أكثر بين المكررات. إن الصمامات الثنائية الباعثة للضوء ذات الإشعاع العالي، والتي تبث على موجة بطول 850 و1300 نانومتر، كثيرة الاستعمال لأنها ذات كفاءة كم (Quantum Efficiency) ذاتية عالية، وذلك بسبب الميزات التي اكتسبتها من خلال البنية المزدوجة غير المتجانسة للصمام الثنائي.

ملاحظة: إن كفاءة الكم هي متوسط عدد الإلكترونات لكل كمّ ضوئي (quantum of Light) مُنَبعث.

يمكن تعديل طول موجة الانبعاث إلى درجة توهين وتشتت منخفضين من خلال تصميم صمام ثنائي باعث للضوء يكون فيه حجم الطبقة السطحية الباعثة محدوداً جداً. وتتضمن هذه الطريقة المحافظة على مقاومة حرارية منخفضة (Low Thermal Resistance) وكفاءة إشعاعية عالية (وبالتالي طاقة إشعاعية عالية) مقرونةً بالليف.

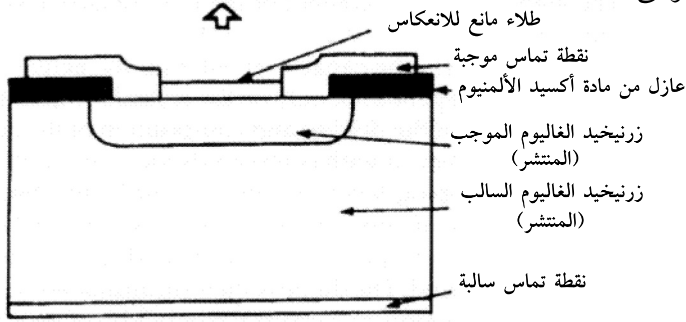
4-4-3 صمامات زرنيخيد الغاليوم الثنائية المنتشرة والباعثة للضوء على موجة بطول 900 نانومتر

يستعمل هذا النوع من الصمامات الثنائية «بالتحديد» تكنولوجيا مستوية، ويُظهر الشكل 4-5 مثالاً نموذجياً عن بنية هذا الصمام. إن كثافة الخلع (Dislocation Density) القليلة (أقل من 4000 سنتمتر مربع) لسطح الركيزة المنشط سلباً (N-Doped Substrate Wafer)

يُقلّص الفقد الناتج من إعادة اتحاد الإلكترونات غير المشعة في المناطق الشائبة من البلورة.

وتعمل المنطقة الموجبة (P) كحاجز لمنع الانتشار (Diffusion Mask) كما إن جزء الاتصال (P-N) يقلّص من التشوهات الهندسية والفقد الإضافي الناتج من الشوائب الموجودة في البلورة. ومن أجل تحسين الناتج الإشعاعي للصمام الثنائي يطلى السطح الموجب النهائي (Final P-Surfuce) بطبقة من نيترات السليكون (Silicon Nitrate) وهي طبقة مانعة للانعكاس. ويبلغ طول موجة الانبعاث الضوئي لهذا النوع من الصمامات الثنائية بالتحديد حوالى 900 نانومتر. وأما السعة الموجية الطيفية فتبلغ 40 نانومتر تقريباً. وتتناسب اَلطاقة الإشعاعية (Radiant Power) طردياً مع التيار المنحاز للأمام (عادة 120 ميكروواط عند تيار 100 ملّي أمبير).

إن متوسط عمر (أي المدة الزمنية لتصبح الطاقة المشعة حوالى 50 في المئة) هذا النوع من الصمامات الثنائية الباعثة للضوء هو حوالى 10^5 ساعة.



الشكل 4-5 بنية صمام زرنيخيد الغاليوم المنتشر الثنائي الباعث للضوء

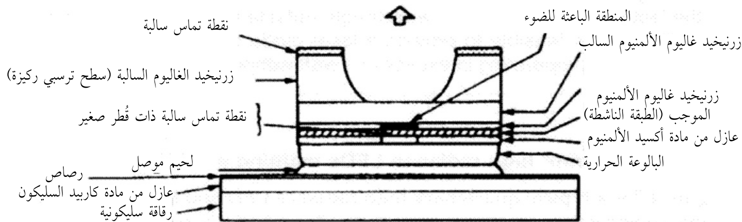
وكذلك فإن صمام زرنيخيد الغاليوم المنتشر الثنائي الباعث للضوء مناسب لمعدل إرسال يصل إلى حوالى 5 ميغابت في الثانية على الرغم من أن تطعيم المنطقة الموجبة لمستويات أعلى سينتج منه

سعات موجية كبيرة للتضمين، إلا أن التطعيم سيقلل من كمية الطاقة الإشعاعية المتاحة.

4-4-4 صمامات زرنيخيد غاليوم الألمنيوم/ زرنيخيد الغاليوم عالية الإشعاع الثنائية الباعثة للضوء على موجة (AlGaAs/GaAs) بطول 830 نانومتر)

في هذا النوع من الصمامات الثنائية الباعثة للضوء، الظاهر في الشكل 4-6، ثلاثة أنواع مختلفة من طبقات زرنيخيد غاليوم الألمنيوم ذات سماكة ومستويات تطعيم مختلفة (تختار بدقة لمنع أي انتشار مُقدر للتيار في الطبقة). إن هذه الطبقات ناتجة من ترسيب مادة بلورية على مادة زرنيخيد الغاليوم. ولضمان أن يكون نطاق إرسال طبقات زرنيخيد غاليوم الألمنيوم صغيراً جداً، توجّه الطبقات الترسيبية البلورية نحو الأسفل. ويعرف هذا عادة بالتعديل العكسي (Upside-Down Configuration) .

ومن ثم يوضع الصمام الثنائي على بالوعة حرارية ذهبية Gold) (Heatsink رقيقة وملحمة على رقاقة سليكون تحتوي على مسار تحويل طاقي (Conductor Track) وعلى طبقة عازلة. ويجري تقليص المقاومة الحرارية بوضع نقطة التماس الموجبة (P-Contact)، والوصلة (P-N) قرب البالوعة الحرارية.



الشكل 4-6 صمام زرنيخيد غاليوم الألمنيوم/ زرنيخيد الغاليوم الثنائي الباعث للضوء العالي الإشعاع

وتضمن الكمية الكبيرة من الألمنيوم في طبقتي زرنيخيد غاليوم الألمنيوم تكوين منطقة حجز تُقلص من كمية الإلكترونات والفراغات في حزمة الطاقة وتمنع الإلكترونات أن تدخل المنطقة الناشطة.

لا تعتمد كفاءة الكم (Quantum Efficiency) على جودة البلورات فقط، بل على التطعيم وتركيبة الطبقة الناشطة بالدرجة الأولى أيضاً. ويتم الحصول على قيم مثالية عند أطوال موجة تتراوح بين 800 و890 نانومتر، وبمستويات تطعيم تقدر بحوالى 2×10^{18} في السنتمتر المكعب الواحد. إن لدى هذا الصمام الثنائي زمن نهوض (Rise Time) إشارة نبضية تقدر بحوالى 15 نانو ثانية تقريباً. وبالإمكان تقليص الانخفاض في كفاءة الكم الناتجة من إعادة اتحاد الإلكترونات غير المشعة باستعمال طبقات زرنيخيد غاليوم الألمنيوم (AlGaAs). ومن ثم يغلف الصمام الثنائي بغشاء وقائي رقيق جداً. وينتج من هذا الصمام سعة موجية طيفية تقدر بحوالى 45 نانومتر.

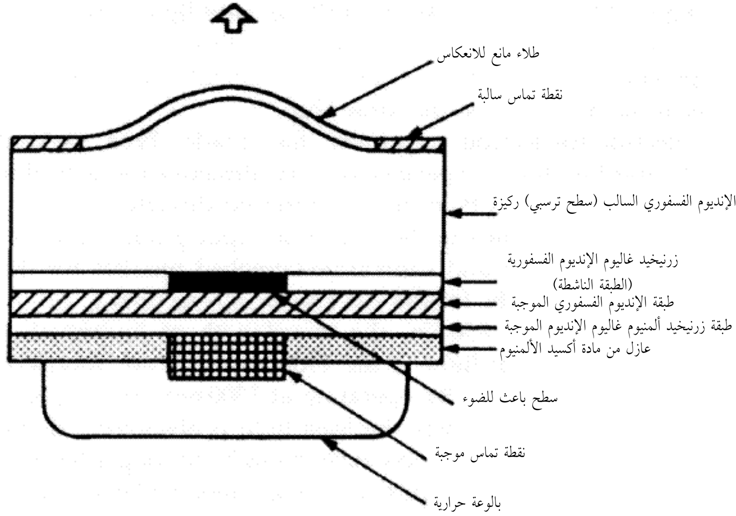
تتغير ذروة الانبعاث (Emission Peak) عندما تزداد درجة الحرارة، وتزاح باتجاه الأطوال الموجية الأطول بمعدل يتراوح بين 0.3 إلى 0.4 نانومتر لكل درجة كلفن (Kelvin). وبسبب صغر مساحة نقطة التماس الموجبة (P-Contact Area)، فإن لدى الصمام الثنائي مقاومة متسلسلة (Series Resistance) تساوي 5 أوم. والفولتية اللازمة للحصول على تيار يُساوي 100 ميللي أمبير (100 mA) هي 1.9 فولت وينتج من ذلك زمن نهوض إشارة تقدر بحوالى 15 نانو ثانية. إن من السهل الحصول على زمن نهوض أقصر (قد يتدنى ليصبح حوالى 4 نانوثانية). غير أن ذلك سيُسبب نقصاً غير متكافئ في الطاقة البصرية. وقد ذُكر أن الطاقة تقل عندما ترتفع درجة الحرارة بمعدل يتراوح بين 0.3 و0.4 في المئة لكل درجة كلفن.

تنتج طاقة بصرية مقدارها 4 ملي واط من تيار كهربائي (Current) يبلغ مقداره 100 ملي أمبير (100 mA) (تعتمد على درجة الحرارة)، ما يُطلق طاقة بصرية مقدارها 60 ميكروواط في الليف ذو معامل متدرج، و700 ميكروواط في الألياف التي لديها مساحة لب تساوي (مثلاً) 100 ميكرومتر. ويصل العُمر المتوقع لصمام زرنيخيد غاليوم الألمنيوم/ زرنيخيد الغاليوم الثنائي الباعث للضوء عالي الإشعاع إلى أكثر من مليون ساعة.

ملاحظة: إن الصمامات الثنائية الليزرية المصنعة باستخدام بؤر كمومية (Quantum Wells) من زرنيخيد غاليوم الأنديوم محاطة بطبقات دالة من زرنيخيد غاليوم الألمنيوم، تبعث الضوء في نطاق أطوال موجية تتراوح بين 900 و960 نانومتر. وتتعرض ليزرات زرنيخيد غاليوم الألمنيوم التقليدية العاملة في نطاق موجة بين 800 و870 نانومتر. للفقد الناتج من الامتصاص الداخلي والذي لا يقلص من الفعالية فقط، بل يبقى السبب الرئيس للأضرار البصرية الكارثية (Catastrophic Optical Damage COD) عند السطح المشع للجهاز. وتزيح إضافة مادة الإنديوم للمنطقة الناشطة (Active Region) طول الموجة إلى خارج نطاق حزمة الامتصاص لزرنيخيد الغاليوم. ومن الممكن تأمين صمام ثنائي ليزري ذي شريط تماس (Stripe Contact) طوله 75 ميكرومتر يعمل بطاقة تزيد على واط واحد دون القلق من حصول أضرار بصرية كارثية.

4-4-5 صمام ثنائي باعث للضوء مصنوع من زرنيخيد غاليوم الإنديوم الفسفوري/ الأنديوم الفسفوري ذو إشعاع قوي يبث على موجة بطول 1300 نانومتر

يُظهر الشكل 4-7 الصمام الثنائي الباعث للضوء ذا الكفاءة الإشعاعية العالية. إن لدى هذا الصمامات بنية الصمامات نفسها التي تكلمنا عنها سابقاً. ويجري شبك طبقة مطعمة موجبة من زرنيخيد غاليوم الإنديوم الفسفوري بشكل منتظم مع طبقة الإنديوم الفسفورية.



الشكل 4-7 بنية صمام زرنيخيد غاليوم الإنديوم الفسفوري/ الإنديوم الفسفوري الثنائي الباعث للضوء ذو الكفاءة الإشعاعية العالية.

ويعمل هذا كحاجز يضمن مقاومة قليلة لنقطة التماس الموجبة، غير أنه من الواضح أن أي تشابك غير منتظم ولو بمقدار قليل يمكن أن يُقلّص من الفعالية.

ومن أجل تقليص الانعكاس يُطلي الصمام الثنائي بطلاء رقيق من نيترات السليكون (Silicon Nitrate)، ويكون السطح الترسبي شفافاً على موجة بطول 1300 نانومتر، لذا لا توجد حاجة إلى صقل الثقوب.

إن لنوع كهذا من الصمامات الثنائية الباعثة للضوء زمن نهوض إشارة نبضية يقدر بحوالى 8 نانوثانية وزمن تحلل نبضة (Fall Time) بحوالى 18 نانوثانية، ما يجعلها مناسبة لمعدل إرسال قدره 34 ميغابت في الثانية. ويمكن تقليص زمن نهوض وتحلل الإشارة إلى 3 نانوثانية و6 نانوثانية (للحصول على معدل إرسال قدره 140 ميغابت

في الثانية) وذلك من خلال زيادة مستوى التطعيم. ولكن، بالطبع سينتج من ذلك انخفاض في الطاقة الإشعاعية. على الرغم من أن هذا النوع من الصمامات الثنائية الباعثة للضوء بالتحديد يتفاعل مع التغيرات الحرارية بشكل أكبر من الصمامات التي ذُكرت (وتقدر بحوالى 0.7 في المئة لكل درجة حرارة واحدة)، إلا أن معدل عُمر هذه الصمامات منخفض (عادة 10^6 ساعة).

4-4-6 فوسفيد الإنديوم

إن كل من زرنيخيد الغاليوم وفوسفيد الإنديوم، هي مركبات من عناصر V-III، وتسمى كذلك لأنها تجمع بين عناصر غير معدنية من الزمرتين الثالثة والخامسة من الجدول الدوري للعناصر الكيميائية. ويؤمن كلا المركبين ميزات أفضل من الميزات التي يؤمنها السليكون وبخاصة الأساسية منها مثل قدرة الإلكترون على الحركة ومقاومة الإشعاع. إن هذه المركبات مصنّعة من سموم مميتة سريعة العطب خلال عملية نمو البلورة، بالإضافة إلى أنها تنتج في أجهزة هشة جداً، لذلك فإنها لا تُسوق على مستوى واسع في الوقت الحالي.

يمكن لهاتين المادتين أن تبعثا الضوء عندما يُمرر تيار كهربائي عبرهما، الأمر الذي لا يمكن إنجازه عند استعمال مادة السليكون. وقد أدّت هذه الخاصية إلى تطوير الصمامات الثنائية الليزرية للدارات المتكاملة التي تجمع بين الوظائف البصرية والإلكترونية في الرقاقة نفسها.

إن إمكانية تفاعل إلكترون ـ مع ـ إلكترون جعلت أجهزة عناصر V-III بشكل عام، وأجهزة فوسفيد الإنديوم بشكل خاص أكثر استعمالاً في التطبيقات التكتيكية العسكرية بحيث إنها تسمح بوصل هذه الأجهزة بشكل مباشر بالألياف البصرية المستخدمة في الصواريخ

الموجهة (مثل قذائف الهاون الموجهة بالألياف البصرية، وصواريخ جو - جو، والصواريخ التي تنطلق من غواصات القوات البحرية، وقذائف جو - أرض للقوات الجوية).

وتبعث مادة زرنيخيد الغاليوم الضوء على موجة بطول 850 نانومتراً، وهذا هو طول موجة الليف البصري متعدد الأنماط، إلا أن بإمكان مادة فوسفيد الإنديوم أن تبعث الضوء عند أطوال موجية 1300 و1550 نانومتر لليف مفرد النمط. وعندما تعمل الألياف مفردة النمط عند نطاق طول موجة 1300 نانومتر (وهو طول ذو أقل تشتت ممكن)، أو على موجة بطول 1550 نانومتر (حيث امتصاص الضوء في هذا النطاق يكون في أدنى مستوياته)، فإن ذلك يُقلّص من مقدار فقد الإشارة. وبما أن الضوء لم يعد يُقذف داخل الجدائل الزجاجية، فقد أصبح بالإمكان صنع الليف مفرد النمط بحجم أصغر بكثير، وبقُطر يقل عن 10 ميكرونات (أي 10^{-6} متر) بدلاً من 100 ميكرون في الليف متعدد الأنماط. علماً بأن معدل قُطر شعرة الإنسان يتراوح بين 100 و150 ميكرون إذا توخينا المقارنة فقط.

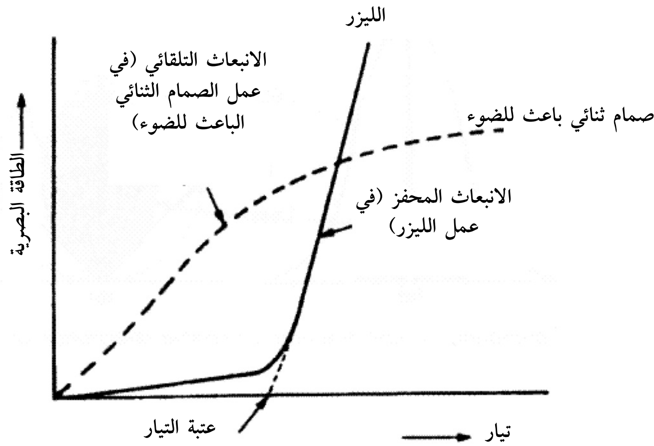
ملاحظة: طورت شركة كورنينغ ما تُسميه ليف مفرد النمط ذا دليل لبي بتشتت مسطح يعمل بنطاق أطوال موجية 1300 و1550 نانومتر.

5-4 الصمامات الثنائية الليزرية

تم تطوير الليزر عام 1960، واعتبر ذلك إنجازاً عظيماً. وكلمة الليزر (Laser) هي اختصار لـ (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) في اللغة الإنجليزية، أي تضخيم الضوء من خلال الانبعاث الإشعاعي المحفز ـ وهو ببساطة عبارة عن مصدر ضوئي ينبعث عندما يسقط الإلكترون من مستوى طاقة عالٍ إلى

مستوى أقل داخل شبه موصل حيث يكون الإلكترون بحاجة إلى التخلص من الطاقة الزائدة لديه. وتحفّز فوتونات الضوء الناتجة في الليزر الفوتونات الأخرى التي لديها طول موجي شبيه بالطول الموجي لدى الفوتون الأساسي، وتسمى هذه العملية «بالانبعاث المُحفز».

ينبعث الفوتون المتولد إما من أشباه موصلات أو يتم امتصاصه، وذلك لخلق زوج إلكترون ـ ثقب (Hole-Electron Pair). وفي حال سقط الفوتون على إلكترون حر في حزمة التوصيل، فبإمكان هذا الفوتون أن يحفز الإلكترون، وبالتالي سيندمج قبل أوانه وينتج من ذلك فوتون آخر مترابط (في التأشير والطور، واللون الواحد) مع الفوتون الساقط.



الشكل 4-8 مقارنة بين الخصائص البصرية للصمامات الثنائية الباعثة للضوء والليزر

إن قدرة الفوتونَين المترابطَين (Coherent Photons) هي ضعف قدرة الفوتونَين غير المترابطين، ولذلك عندما يكون مستوى تيار

الصمام الثنائي (Diode Current) فوق المستوى الحرج (Critical Level) فهناك فرصة أن يحفّز هذان الفوتونان انبعاثاً أكبر (قبل أن يتم بعثهما أو امتصاصهما) ما يسبب تزايداً سريعاً في القدرة الإشعاعية. وتدعى هذه العملية بالليزرة (Lasing)، أي بعث ضوء الليزر.

يتشكل شعاع الليزر من خلال مِرنان (Resonator) أو فجوة بصرية تحصر الضوء وترغمه على عبور الوسيط المُحَفز. ومن الممكن أن يتألف المرنان من مرآتين، أو سُطيحات أو أوجه (Facets) بارزة عند طرف البلورة شبه الموصلة. ويطلى الوجه البارز الخلفي عادة بطبقة عاكسة بحيث ينعكس الضوء الساقط عليها بالكامل. أما الوجه البارز الأمامي فهو غير مطلي، لذا فإن معظم الضوء يهرب. ولكن، فعلياً، فإن جزءاً من الضوء ينعكس إلى الداخل.

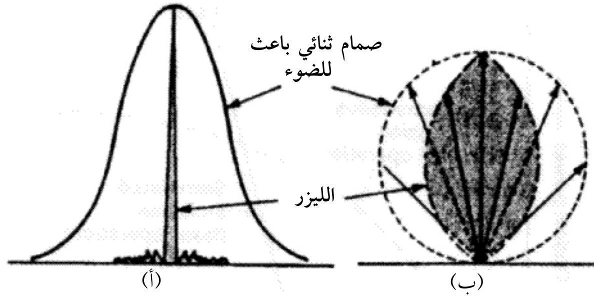
يعتمد ناتج الليزر على تيار السوق (Drive Current) الذي يمر فيه. وعندما يكون تيار السوق منخفضاً فإن الليزر يعمل عمل صمام ثنائي باعث للضوء غير فعال. ولكن عندما يصبح تيار السوق في مرحلة العتبة (Threshold Value) تبدأ عملية الليزرة أو بث ضوء الليزر.

لذلك فإن الصمام الثنائي الليزري، هو صمام ثنائي باعث للضوء مع عنصر انتقاء طول موجة (Wavelength Selective Element).

يظهر الشكل 4-8 رسماً بيانياً يقارن بين الطاقة البصرية لعمل الصمام الثنائي الباعث للضوء (بسبب الانبعاث التلقائي) وعمل الليزر (بسبب الانبعاث المُحفز)، أما الشكل 4-9 فيظهر فروقات التوزيع الطبقية والمكانية بين هذين النوعين من الصمامات الثنائية.

عندما يكون التيار منخفضاً فإن الصمام الثنائي الليزري يعمل بطريقة مشابهة لعمل الصمام الثنائي الباعث للضوء. ولكن عندما

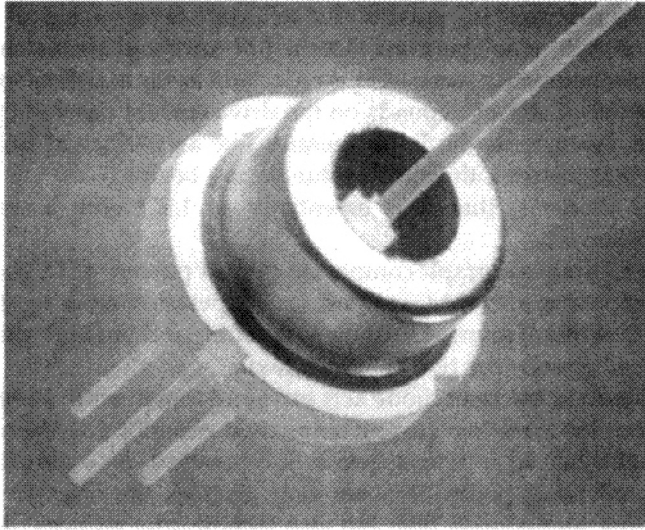
يَكون فوق تيار العتبة (Threshold Current) تبدأ عملية الانبعاث المُحفز (أي تضيق شعاع الضوء لعدة خطوط طيفية بدلاً من التوزيع الطيفي العريض. وهذا يصعب من إقران الليزر مع الليف مفرد النمط، كما إنه يُقلّص بشكل ملحوظ كمية الضوء غير المقرن (أي التوزيع المكاني للأشعة).



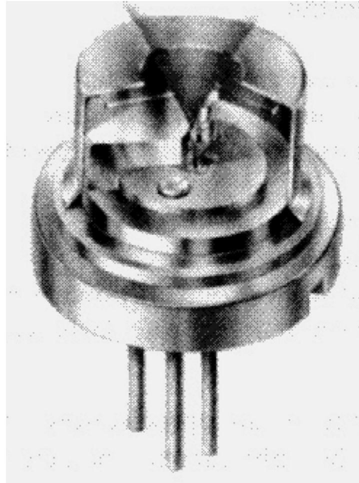
الشكل 4-9 مقارنة (أ) التوزيع الطيفي و(ب) التوزيع المكاني للصمام الليزري والصمامات الثنائية الباعثة للضوء

وبما أن حجم عتبة الحركة يعتمد على الحرارة وعمر الصمام، فيجب تعديل التيار المحرك ليؤمن طاقة إخراج ثابتة. ولتحقيق ذلك فإن الضوء من المرآة الخلفية يسمح للناتج من الصمام الثنائي الضوئي بأن ينظم تيار السوق.

وبسبب حجم، ومتانة وحاجة الصمام الليزري إلى مولد ينتج فولتية منخفضة لإنتاج تضمين ذي سرعة عالية، فهو مصدر ضوء فعال وغير مكلف وقابل للاستعمال طويل الأمد في أنظمة الاتصال. وكذلك يجري استعمال ليرز أكسيد زرنيخيد غاليوم الألمنيوم كقاعدة عامة عند الطرف المنخفض للطيف الضوئي (820 إلى 880 نانومتر)، وأما الصمام الثنائي الليزري ذو التوهين الليفي المنخفض وعتبة تيار منخفضة (مثل زرنيخيد بوتاسيوم غاليوم الإنديوم وبوتاسيوم الإنديوم) فيستعمل عادة عند أطوال موجة 1300 نانومتر إلى 1600 نانومتر.



الشكل 4-10 ليزر نموذجي (تقدمة LasIRvis)



الشكل 4-11 ليزر أشباه موصلات حالة صلبة (تقدمة LaIRvis)

أما في الصمام الثنائي الباعث للضوء من الحافة (ELED) ذي البنية المزدوجة غير المتجانسة (انظر القسم 4-4-1)، فإن أطراف

المنطقة الموجبة – السالبة الباعثة تكون مصقولة ومنفصمة، فينعكس مزيد من الفوتونات للإبقاء على استمرارية عملية الليزرة، شرط أن يكون تيار الصمام الثنائي أعلى من القيمة الحرجة. وتعمل المنطقة الواقعة بين سطحي البلورة المتوازيين ونصف الشفافين عمل فجوة فابري ـ بيرو (Fabrey-Perot) (أي مرشح ذبذبات متغير، أو كمقياس طيفي Spectrometer) وطريقة عملها مشابهة لعمل الفجوة المرنانة لدليل الموجة (Waveguide Resonant Cavity) من حيث قيمة (Q) العالية والتي ينتج منها تضيق في عرض الطيف للانبعاث الليزري.

كما سبق وذكرنا، فإن الميزة الأساسية للصمام الثنائي الليزري هي أن أشعة ضوئه مترابطة (Coherent): فهي في ذات الطور، وتنتقل في الاتجاه نفسه، ولها الأطوال الموجية نفسها من الناحية الافتراضية. وهذا يضمن الإبقاء على كثافة عالية لطاقة ضوء الليزر، كما ويضمن عدم انحراف الشعاع عن مساره. ويستعمل هذا الصمام دائماً مع الألياف مفردة النمط، وذلك أنه مصدر ضوئي ذو أشعة مترابطة.

وعلى الرغم من استعمال ليزرات الحالة الصلبة الغازية Gas) (Solid State Lasers (مثل ليزرات الهيليوم، والنيون، والأرغون... إلخ) (الشكل 4–11) في الماضي بسبب حجمها، وكلفتها المنخفضة، وفعاليتها إلا أنها اعتبرت غير مناسبة للاستعمال في الألياف البصرية. وفي يومنا هذا تستخدم ليزرات الحقن شبه الموصلة للاستعمال طويل الأمد ومن أجل التطبيقات ذات السعات الموجية العالية.

4–5–1 المحاسن

على الرغم من أن كلفة الصمام الثنائي الليزري قد تصل إلى عشرة أضعاف كلفة الصمام الثنائي الباعث للضوء، إلا أن ميزات

استخدام الليزر بدلاً من الصمامات الباعثة للضوء هي:

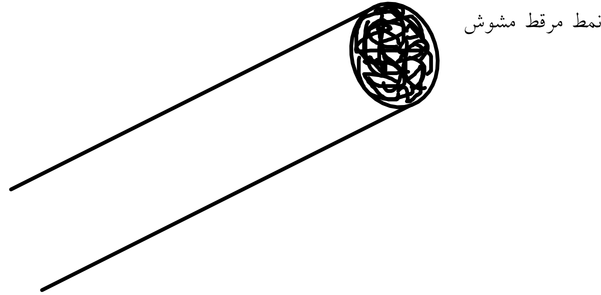
- التصميم الاقتصادي.
- الطاقة البصرية العالية.
- إمكانية التحكم بالضوء الناتج.
- القدرة على العمل في درجات حرارة متزايدة.
- قدرة تضمين محسّنة (السعة الموجية تصل إلى نطاق الجيغاهرتز).
- فعالية قرن عالية.
- عرض طيفي منخفض (3.5 نانومتر).
- القدرة على إرسال طاقة خرج بصرية تتراوح بين 5 و10 ملي واط.
- قدرة الإبقاء على الصفات الليزرية الجوهرية لفترة طويلة من الوقت.

بالإضافة إلى ذلك، فإن خطية أنظمة الإرسال الإلكتروبصرية تتحدد أساساً من خلال صفات التيار الضوئي لجهاز الإرسال على عكس التشوه غير الخطي الناتج من جهاز الاستقبال وأوساط البث. وعلى الرغم من أن الصمام الثنائي الباعث للضوء يُظهر إشارات تدل على التشبع (Saturation) عند تعرضه لمستويات طاقة عالية، إلا أن الصمام الثنائي الليزري العامل يتحسن أداؤه إذا تعرض لمستوى الطاقة نفسه، (راجع الشكل 4-8).

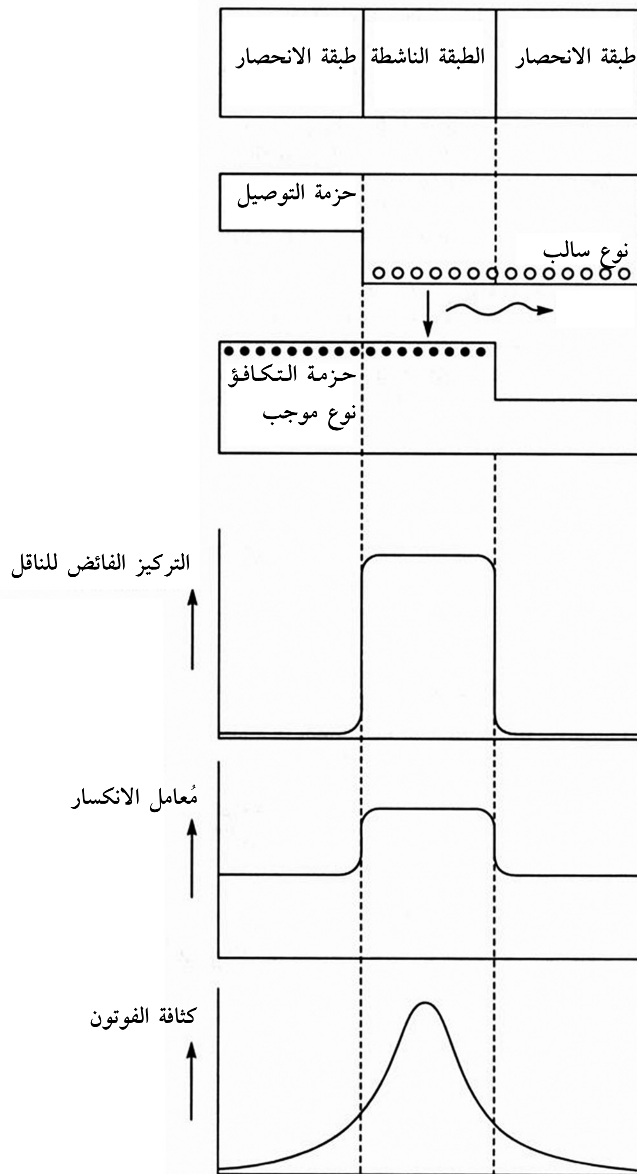
4-5-2 المساوئ

يجب الأخذ بعين الاعتبار أنه وبالاعتماد على أطوارهما النسبية فإن الشعاعين الضوئيين المترابطين قد يزيدان أو ينقصان من حقولهما الكهربائية، ما يسبب نمطاً مُرقّطاً (Speckle pattern) عند الطرف النهائي لليف كما هو موضح في الشكل (4-12). وبسبب قلة أنماط الإرسال، فإن الليف ذا معامل الانكسار المتدرج يُظهر نمطاً مرقطاً أكثر وضوحاً من ليف معامل الانكسار الخطوي.

وعلى الرغم من إزدياد معدل التضمين (Modulation Rate) ليصبح ضمن نطاق الجيغاهرتز (GHz) عند استعمال تعديل التيار المباشر (DC bias)، فإن السيئة الأساسية لاستعمال الصمام الثنائي الليزري تكمن في أن هذا الصمام حساس جداً للحمولة المفرطة للتيار، وعند معدلات إرسال عالية. عندما يعمل الليزر بشكل مستمر، سينتج من استعمال تيار السوق الكبير صفات حرارية غير مرغوبٍ فيها، مما يستوجب التبريد والعمل على استقرار الطاقة.



الشكل 4-12 شعاعين ضوئيين مترابطي الموجة ينتج منهما نمط مرقّط عند الطرف النهائي لليف البصري.



الشكل 4-13 محاسن البنية المزدوجة غير المتجانسة

بسبب انخفاض عدد ناقلات الإلكترون (الناتجة من انتشار وتعديل الإلكترونات والثقوب)، فإن الانبعاث المُحفز من الوصلة الموجبة - السالبة (التي كانت تُستعمل في الصمامات الثنائية الليزرية السابقة) ويظهر فقط في حال كانت عتبة التيار عالية. وقد جرى التغلب على هذه المشكلة في التصاميم الحديثة من خلال البنية المزدوجة غير المتجانسة، ومن خلال وضع الطبقة الناشطة لشبيه الموصل بين طبقتين شبه موصلتين أخريين لهما مدى طاقات مكافئة أعرض. ويمنع هذا البناء الإلكترونات المحقونة من الجهة السالبة والفراغات المحقونة من الجهة الموجبة من الانتشار خارج المنطقة الناشطة. وبذلك يتم حصر الناقل. ويشرح الشكل (4-13) الخصائص العديدة لليزر البنية المزدوجة غير المتجانسة.

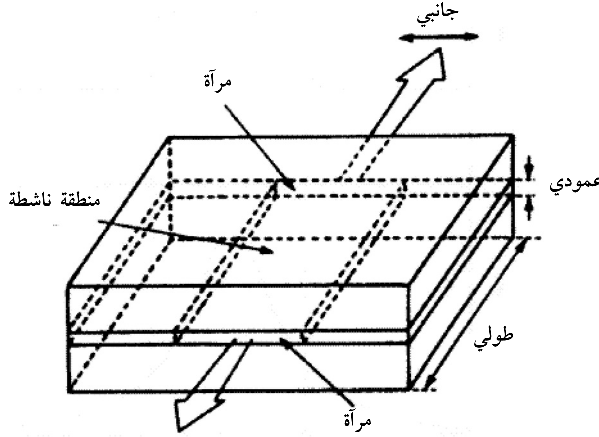
وبما أن لدى حيز الموجة (Band gap) معامل انكسار أصغر، سينتج من وضع الطبقة الناشطة بين طبقتين من مدى الطاقات المكافئة الأعرض تأثيراً مماثلاً للتأثير الموجود في ليف دليل الموجة الزجاجي وبذلك تصبح موجة الضوء مركزة. ويمكن أن يغير حيز الموجة (وبذلك طول موجة الضوء المنبعث) هذا المدى من خلال الترسيب البلوري لأشباه موصلات جديدة على السطح الترسبي للركيزة.

ملاحظة: الطبقة البلورية (Epitaxial Layer) وهي طبقة مادة شبه موصلة لديها صفات تموضع بلورية شبيه بصفات سطح الركيزة الذي تنمو عليه الطبقة البلورية.

4-5-3 تصميم الصمام الثنائي الليزري

يظهر الشكل 4-14 الحصر المكاني للمنطقة الناشطة للصمام الثنائي الليزري. ويحصل الحصر الطولي (Longitudinal Confinement) للمنطقة الكهربائية حول الوصلة الموجبة السالبة والفجوة البصرية من خلال استعمال مرايا الفجوة. كما ويحصل

الحصر العمودي (Vertical Confinement) من خلال استعمال سطحي المرآتين. أما الحصر الجانبي (Lateral Confinement) فيحصل من خلال استخدام بُنى داخلية إضافية.

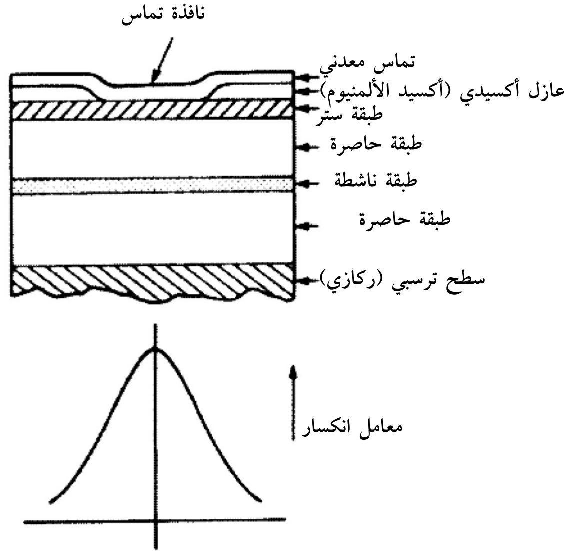


الشكل 4-14 الحصر المكاني للمنطقة الناشطة للصمام الثنائي الليزري

إن الحصر الجانبي للمنطقة الناشطة لعدة ميكرونات مهم جداً، إذ إنه يحد من ذبذبة الليزر ضمن النمط المستعرض (Transverse Mode) الأساسي وبالتالي يمنع توليد الأنماط ذات المراتب العليا. ومن الواضح أن هناك كثيراً من الأنواع المختلفة من الليزرات في الأسواق، غير أن أكثرها استخداماً هي الليزارات التي تعتمد على طول الموجة الجانبية المستخدمة. والنوعان الرئيسان في هذا الصنف هما الصمامات الثنائية الليزرية ذات الدليل الموجي المستحث بالتيار (Current-Induced Waveguide)، والصمامات الثنائية الليزرية ذات الدليل الموجي المدمج (Built-in Waveguide).

4-5-3-1 الصمامات الثنائية الليزرية ذات الدليل الموجي المستحث بالتيار

يُظهر الشكل 4-15 صماماً ثنائياً ليزرياً يتضمن شريط أكسيد ودليل موجة مستحث بالتيار. وتكون ناقلات التيار في هذا النوع من الليزرات مركّزة عند النافذة الناشطة المخططة (Active Stripe-Shape Window)، ما يخلق معامل انكسار وهمي يشكل حصراً جانبياً.



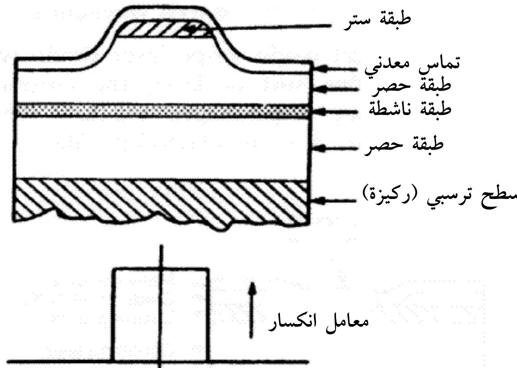
الشكل 4-15 بنية الصمام الثنائي الليزري بشريط أكسيدي

ويسمّى الحصر الجانبي بالصمامات الثنائية الليزرية الموجهة بالكسب (Gain-guided Laser Diode) ذلك لأنه يماثل مقطع الكسب البصري. أما الأنواع الأخرى من هذا النوع من الصمامات فهي الليزرات المعزولة البروتونات (Proton-Isolated Lasers) والليزرات ذات الأخاديد المحفورة على شكل حرف (v) اللاتيني (V-Grooved Lasers).

4-5-3-2 الصمامات الثنائية الليزرية ذات دليل الموجة المدمج

إن الليزرات ذات البنية الدفينة غير المتجانسة عالية التوصيل (BH) (Buried Heterostructure)، وليزرات السطح المستوي الركازي الموجّه (CSP) (Channeled Substrate planer)، وليزرات دليل الموجة ذات التصفيح المقوي بالمعدن (Metal Clad Ridge Waveguide - MCRW)، هي أمثلة عن الصمامات الثنائية الليزرية ذات الدليل الموجي المدمج. إن بنية ليزر دليل الموجة هذا مبين في الشكل 4-16.

ويتحقق الحصر الجانبي للتيار وتوجيه الموجة في الوقت نفسه بسبب تأثير المنع الناتج من قطعة التماس المعدني على طبقة الستر (Capping Layer) المطعمة الواقعة خارج الشريط. ويتولد عن تزايد انعكاس الموجة البصرية الناتج من معدنة (Metallization) كلا طرفي الشريط المختلف الأقطاب معامل انكسار فعال، وبالتالي دليل موجة بصرية فعّال أيضاً. وبما أن لدى هذه المجموعة معامل انكسار مدمج (Bbuilt-in Refractive Index)، فهي تُعرف أيضاً باسم «الصمامات الثنائية الليزرية الموجهة بالمعامل» (Index-Guided Laser Diodes).



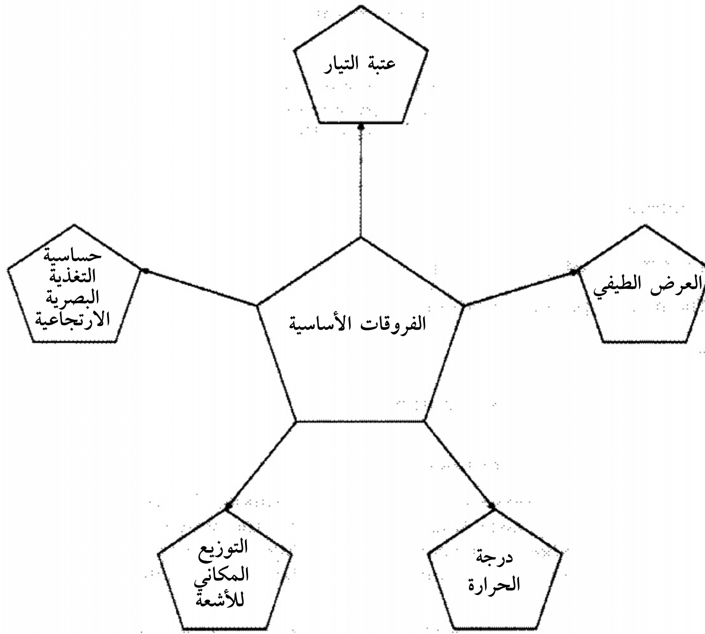
الشكل 4-16 بنية الصمام الثنائي الليزري ذي دليل الموجة ذات التصفيح المقوي بالمعدن (Metal Clad Ridge Waveguide -MCRW)

4-6 الفروقات الأساسية بين الصمام الثنائي الليزري الموجّه بالكسب (أي المستحث بالتيار والصمام الثنائي الليزري ذي الدليل الموجي المدمج والموجّه بالمعامل (الشكل 4-17)

هناك عدة فروقات أساسية بين هذين النوعين من الصمامات الثنائية الليزرية، وهي:

- **عتبة التيار**: عندما يُساوي مقدار عتبة تيار الصمام الثنائي الليزري الموجه بالمعامل 20 في المئة من قيمة عتبة تيار الصمام الثنائي الليزري الموجه بالكسب، فإن كمية الحرارة الناتجة من الليزر الموجه بالمعامل أقل بكثير من كمية الحرارة الناتجة من الليزر الموجه بالكسب.

- **العرض الطيفي**: إن لدى الصمامات الثنائية الليزرية الموجهة بالمعامل خطاً طيفياً طاغياً عند قمة منحنى الكسب (Gain Curve). ولا يمكن المحافظة على هذه الميزة عند معدلات التضمين العالية، وذلك أن الموقع الطيفي للحد الأقصى من الكسب تتغير مع تغير التضمين. كما يصبح الطيف الديناميكي أعرض ويزداد عدد أنماط التذبذب مع ازدياد معدل الإرسال.



الشكل 4–17 الفروقات الأساسية بين الصمامات الثنائية الليزرية الموجهة بالكسب وتلك الموجهة بالمعامل.

● **درجة الحرارة**: تؤثر درجة الحرارة في الصمامات الثنائية الليزرية بشكل كبير، ففي الليزرات التي تعمل على موجة بطول 850 نانومتر ينخفض الفارق عادة بمقدار 0.8 في المئة لكل درجة حرارة وترتفع عتبة التيار (في نقطة الليزرة) بمعدل 1 في المئة لكل درجة حرارة. أما في الليزرات العاملة على موجة بطول 1300 نانومتر، فإن عتبة التيار ترتفع بمعدل 2 في المئة لكل درجة. إن ارتفاع درجة الحرارة يؤثر في الليزرات الموجهة بالمُعامل والليزرات الموجهة بالكسب، ما يسبب إزاحة طول الموجة التي يعملان عندها إلى طول موجة أطول عدة عشرات من النانومترات للدرجة الواحدة. ويمكن لهذا أن يسبب إزاحة الإشارة في الليزرات الموجهة بالكسب. وأمَا

في الليزرات الموجهة بالمعامل، فيمكن أن يتسبب هذا بتجاوز الأنماط (Mode Jumping).

• **التوزيع المكاني للأشعة** (Spatial Radiation Distribution): يتأثر الحقل البعيد لليزر (أي التوزيع المكاني للأشعة المُقاسة على مسافة ما بعيدة عن مرآة الليزر) بحجم الفجوة وهي عادة ما تكون أعرض من الليزر التقليدي في الحالة الصلبة. وبسبب هذه الفروقات في الأبعاد الجانبية الطولية، فإن الإشعاع المكاني عادة ما يكون غير متماثل وباتجاهين (Asymmetrical).

• **حساسية التغذية الارتجاعية البصرية** (Optical Feedback Sensitivity): على الرغم من أن الفعالية القصوى للإرسال مرغوبة، إلا أنه يجب الأخذ بعين الاعتبار التغذية الارتجاعية للضوء المنعكس. تتغير حساسية التغذية الارتجاعية البصرية بشكل كبير بين الأنواع المختلفة للصمامات الثنائية، حيث إنها عالية في الليزرات الموجهة بالمعامل وذلك أن عامل الجودة Q (Quality Factor). أما في الليزرات الموجهة بالكسب فإن التغذية الارتجاعية منخفضة بشكل جوهري.

4-6-1 أنواع الصمامات الثنائية الليزرية

إن أنواع الصمامات الثنائية الليزرية الرئيسية هي:

• الشريطي الطبقي المخطط (Stripe Geometry).

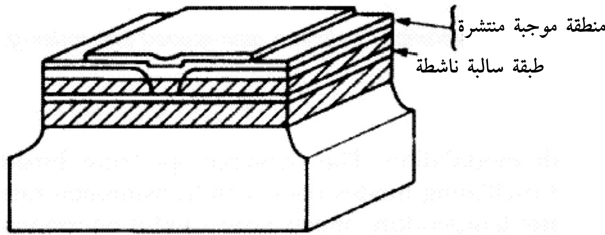
• الشريطي الأكسيدي (Oxide Stripe).

• الانبعاث الناتج من سطح الفجوة العمودية (Vertical Cavity Surface Emitting).

4-6-1-1 الصمامات الشريطية المخططة

إن هذا النوع من الصمامات الليزرية هو عبارة عن صمام ثنائي ليزري موجّه بالكسب. والمبدأ الذي يعتمده هذا النوع من الصمامات

(الشكل 4–18) هو أن العرض الناشط لا يمتد إلى حافة رقاقة شبه الموصل وينتج الحصر البصري عن معامل الانكسار عند سطح الوصلة غير المتجانسة.



الشكل 4–18 بنية الصمام الثنائي الليزري الشريطي الطبقي المخطط

4–6–1–2 الليزرات الشريطية الأكسيدية

إن الجزء الأساسي في الصيغة المستقرة لهذا النوع من الليزرات هي قدرتها على التعامل مع الطاقات النبضية العالية وبذلك تنخفض حساسيتها لوثبات (Spikes) التيار المجهز والدارات المُعَدِلة.

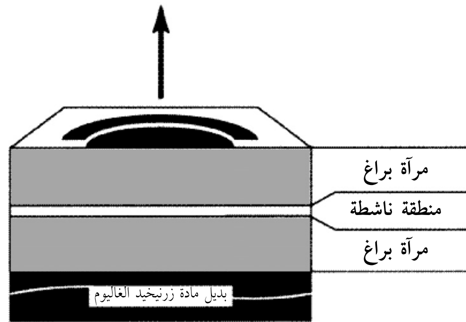
يستعمل هذا النوع من الليزرات (تكوينات من زرنيخيد غاليوم الألمنيوم/ زرنيخيد الغاليوم) في الأنظمة البصرية متعددة الأنماط حيث إن حيِّز حزمة GaAs يرسم حدود طول الموجة الطويلة، كما إن مادة الألمنيوم تغير حدود طول الموجة القصيرة. إن حساسية هذا النوع من الليزرات منخفضة بالنسبة للتغيرات في درجة الحرارة وتتحمل درجة حرارة تصل إلى 100 درجة مئوية دون الحاجة إلى تبريد اضافي. وهي مناسبة لإرسال حجوم كبيرة من البيانات عبر مسافات طويلة.

4–6–1–3 ليزرات الانبعاث الناتج من سطح الفجوة العمودية

في تجارب أجريت في المعهد الألماني (Fur Festkorperelectronik Technische Universitat Wein)، في فيينا،

انتهت بتصنيع صنف ذي بعدين من ليزرات الانبعاث الناتج من سطح الفجوة العمودية (VCSEL) باستعمال تقنية الحفر عبر التفريز الأيوني (Ion Milling Etching). وكانت هذه عملية معقدة وبحاجة إلى تقنيات حفر متقدمة أكثر تعقيداً من تقنية النقش الكيميائي الرطب (Wet-Chemical Etching) البسيطة.

إن هذا النوع من الصمامات تجري تنميته من خلال ترسب حزمة تقيلّية جزيئية (Molecular Beam Epitaxy) في بلورات أو من خلال ترسيب بخار معدن كيميائي عضوي. إن هندسة بنية ليزرات الـ VCSELs موضحة في الشكل 4-19. في البداية توضع مرآة براغ (Bragg Mirror)، حاوية على 20 إلى 30 زوج متبادل من زرنيخيد غاليوم الألمنيوم/ زرنيخيد الغاليوم بشكل طبقات، وعلى ركيزة. وتتراوح سماكة هذه الطبقات بين 60 و80 نانومتر، ويليها طبقة التصفيح من زرنيخيد غاليوم الألمنيوم، ومن ثم منطقة ناشطة، وأخيراً طبقة تصفيح من زرنيخيد غاليوم الألمنيوم ومرآة براغ إضافية توضع فوقها تتألف أيضاً من 20 إلى 30 زوج من طبقات زرنيخيد غاليوم الألمنيوم/ زرنيخيد الغاليوم المتبادلة الطبقات، ما يكمل بنية هذا الصمام الثنائي. أخيراً، تصبح السماكة الكلّية لهذه التركيبة بين 3 إلى 5 ميكرومتر.



الشكل 4-19 هندسة بنية ليزرات الانبعاث الناتج من سطح الفجوة العمودية مع مرآة براغ عند كلا الوجهين (عند جهة السطح الترسبي والسطح الأعلى).

ملاحظة: بالإضافة إلى معالجة ليزرات الانبعاث الناتج من سطح الفجوة العمودية التقيلية التي تتضمن مرآة براغ على الركيزة والوجه العلوي والسطح الترسبي، فقد تمت معالجة ليزرات الانبعاث الناتج من سطح الفجوة العمودية ذات الترددات القابلة للتعديل وتتضمن مضمنات (Modulators) متكاملة. إن هذا النوع من الليزرات مهم جداً لتقنيات مضاعفة تقسيم طول الموجة في الاتصالات البصرية كما ولها صمام ثنائي مُضمن متكامل (Integrated Modulator Diode) في الفجوة، إلا أنها لا تتضمن مرآة براغ على الجهة العلوية.

إن ليزرات الانبعاث الناتجة من سطح الفجوة العمودية نوع ممتاز من الليزرات الباعثة من السطح وذلك لصغر حجمها، وهندستها المسطحة، وقدرة تكاملها مع الأنظمة وإمكانية الحصول على قدرة عالية وأشعة ذات كفاءة إشعاعية عالية. ويمكن صنع هذه الليزرات على شكل صفوف ثنائية الأبعاد بسبب وجود مرايا مرنانة متكاملة (مرايا براغ) دون الحاجة إلى شق. كما إنها مثالية كباعثة للضوء في الأجهزة الإلكترونية البصرية المتكاملة.

4-6-1-4 الصمامات الثنائية الليزرية العاملة على موجة بطول 1300 و1600 نانومتر

بما أن نقطة التوهين في الليف البصري تكون منخفضة عند أطوال موجة بين 1300 و1600 نانومتر مقارنة بنقطة التوهين عند طول الموجة 850 نانومتر، فإن مدى التكرار (Repeater Span) يَزداد. كما إن خصائص الليف التشتتية مهمة أيضاً. ونتيجة لذلك، فإن التوسع الحركي لعرض الطيف (Dynamic Spectrum Broadening) لليزرات (بسبب فجوة فابري ـ بيرو) يصبح عَامِلاً يحد من قدرة الإرسال لمسافات بعيدة. إلا أن إحدى ميزات الإرسال عند أطوال موجة بين 1300 و1600 نانومتر، هي إمكانية التخلص من التشتت عموماً في ليف النمط المفرد، وبشكل كلي تقريباً، عند طول موجي معين، فيلغي تأثير التوسع الحركي تماماً.

على الرغم من أن الصمامات الثنائية الليزرية المستخدمة عند مدى طول موجي طويل يتم تصنيعها باستعمال مواد فسفيد زرنيخيد غاليوم الإنديوم/ فوسفيد الإنديوم (InGaAsP/InP)، إلا أن إحدى المشاكل المرافقة لهذا النوع من الصمامات هي الكمية الزائدة للإلكترونات المتحدة وغير المشعة والناتجة من تزايد طول الموجة والتي تحد من طول الموجة اساساً.

وكما هو الحال في طرق الاتصال الأخرى، يجب أخذ ظاهرة التداخل الطوري (Phase Interference) بعين الاعتبار. وينتج التداخل الطوري بسبب تداخل موجة ضوئية مع موجة ضوئية أخرى ذات طور مختلف، ما يسبب التوهين لا سيما عندما يكون كل من مانعات الطور والتصفيح في الطور نفسه.

هذا وبالإمكان إرسال المئات من الموجات (تسمى بالموجات التناسبية (Eigenwaves) أو أنماط الليف) عبر أي ليف، من دون أن تتداخل هذه الموجات مع بعضها البعض، إلا أن العامل المتحكم بسعة موجة الليف هو التأثير الناتج من فروقات التأخير بين مُرَكَبَات الضوء ذات مسالك الانتشار (Propagation paths) المختلفة.

4-6-2 الأقراص المجهرية

حصلت مختبرات تي. أند تي. بل (T&T Bell) على الرقم القياسي لأصغر ليزر في العالم من خلال حفر أقراص مجهرية من مرددات (Wavers) تصنع منها أشباه الموصلات الليزرية. ويتراوح قُطر الأقراص بين 2 و10 ميكرومتر وسماكتها أقل من 0.2 ميكرومتر، وتتألف إما من بؤرة واحدة أو ستة بؤر كمومية من مادة فوسفيد زرنيخيد الغاليوم الأنديوم (InGaAs) ومحشورة بين طبقات من فوسفيد زرنيخيد الغاليوم الإنديوم (InGaAsP) سماكتها 10 نانومتر،

مع غطاء من فوسفيد زرنيخيد الغاليوم الإنديوم (InGaAsP) حجمه حوالى 10 نانومتر. ويجري تنميتها على سطح ركيزة من الإنديوم الفوسفوري (InP)، ومن ثم تحفر للتخلص من الإنديوم الفوسفوري (InP)، الذي يعزلها عن كتلة شبه الموصل، إلا من عمود دعم رفيع. وتظهر الأقراص على شكل مسمار صغير عندما توضع تحت مجهر إلكتروني.

يدور الضوء في هذه الأقراص حول حافة القُرص بدلاً من أن يتذبذب بين مرآتين، وهو محصور من خلال الانعكاس الكلي الداخلي بسبب الفرق الكبير بين معامل الانكسار لشبه الموصل (ويُساوي 3.5) ومعامل انكسار الهواء (ويُساوي 1). ويقول المصنعون أن هذه التركيبة تعمل حتى لو غلّفت في مادة السليكا، وذلك أن معامل انكسار السليكا أقل بكثير من معامل انكسار شبه الموصل. وينبعث الضوء الليزري من الجوانب والجهة العلوية للأقراص الصغيرة.

4-6-3 الإرسال متعدد الإشارة

لقد طوّر العلماء في مختبرات جي. تي. إي. (GTE) صماماً ثنائياً ليزرياً (Diode Laser Array) مشعاً قادر على إرسال إشارات اتصال عبر أربعة ألياف بصرية منفصلة عن بعضها بعضاً بشكل متزامن. ومن المتوقع أن يقوم هذا الصمام بتخفيض، وبشكل كبير، من كلفة توزيع الصوت، والمعلومات وإشارات الصور المتحركة (Video) عبر شبكات الألياف البصرية. وعلى المدى البعيد، من المتوقع أن تساعد هذه الصمامات الكمبيوترات ذات السرعة العالية بالتعامل مع الكميات الكبيرة من البيانات، كما هو الحال في كمبيوترات المعالجة المتوازية/ المتزامنة للمعلومات.

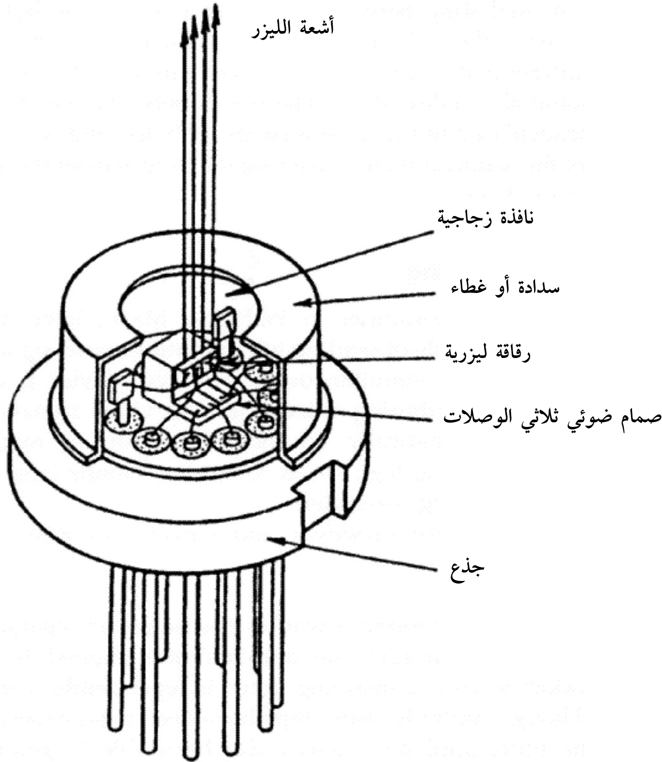
وكما قال دكر (Decker)، نائب رئيس الشركة ومدير بحوث

مختبرات جي. تي. إي: «لقد وجدنا طريقة لتوجيه 4 ألياف مفردة النمط لتصطف تلقائياً مع رقاقة شبه موصل تحتوي كل واحدة منها على 4 ليزرات متحكم بها بشكل منفصل عن بعضها بعضاً. ومع أنه قد جرى استعمال رقاقات الليزر المتعدد في الاختبارات فقط، إلا أن أحداً لم يستطع حتى الآن أن يجعل عملية صف الليف عملية مؤتمتة أو حتى جعل الإشارات الليزرية المرسلة عبر كل ليف عملية تخضع للسيطرة».

وحسب ما قال كريغ آرمينتو (Craig Armiento)، المشرف على البحوث في مختبرات (GTE)، فإن هذه الطريقة تقوم بصفّ أربعة ألياف مع مناطق باعثة للضوء. ولكل واحدة من هذه الليزرات الأربعة قدرة تحمل (Tolerance) تساوي ميكرومتر واحد. ومن الممكن تحقيق دقة عالية كهذه من خلال استعمال تقنيات الحفر والتأين الليثوغرافي الضوئي (Photolithographic) الشبيهة بالطرق المستعملة في صناعة الدارات المتكاملة (Integrated Circuits) حيث يتم حفر الركائز والأخاديد في لوح وافر سليكوني (Silicon «Waferboard») يعمل بمثابة منصة للألياف، والليزرات، والمكوّنات الإلكترونية المرافقة لها. وبعد تركيب الليزرات ووصلها بالخطوط الكهربائية توضع الألياف البصرية في الأخاديد المحفورة بدقة، وتُصفّ هذه الألياف من خلال السحب الفراغي (Vaccum-Drawn) مع الوجه الباعث للضوء لكل ليزر.

«تسمح هذه التكنولوجيا للمُرسلات متعددة الصفوف بتوظيف 16 ليزر فردي»، حسب ما قال آرمينتو. وأضاف: «وستكون الكلفة والحجم والتجميع مثالية.» وحتى يومنا هذا لم يتم الإعلان عن هذا الاختراع، ولم يوضع أي جدول زمني لطرح هذا المنتوج في الأسواق.

قامت شركة سانيو لأشباه الموصلات (Sanyo Semiconductor Corporation) بتطوير صمام ثنائي ليزري من بلورة واحدة ذات أربعة حُزم منفصلة (4-Beam Individually Addressable Monolithic Diode Laser Array)، على رقاقة واحدة، (انظر الشكل 4-20)، مع كل ليزر (من زرنيخيد غاليوم الألمنيوم) قادر على إنتاج طاقة تساوي 100 ملي واط في عملية خرج الطاقة أثناء التشغيل أحادي النمط. ويُتحكم بكل شعاع أو حزمة من خلال شاشة منفصلة للصمام الضوئي ثلاثي الوصلات (PIN Photodiode Backfacet Monitor).



الشكل 4-20 رسم بياني لبنية الصمام الثنائي الليزري رباعي الشعاع الذي تنتجه شركة سانيو SDL - 7952 (تقدمة **Sanyo**)

وهكذا ومن خلال وضع الليزرات الأربعة في الرقاقة نفسها، يتم التغلب على مشكلة الاصطفاف الموجودة في التركيب متعدد الرقاقات، والتحكم بـدرجة الشعاع بشكل كبير عند 100 ميكرومتر (أقل أو أكثر بـ1 ميكرومتر). إن موقع درجة الشعاع يخوّل الأنظمة البصرية بأن تعمل وكأن هناك شعاعاً واحداً فقط. والميزة الأخرى هي سهولة الصّف.

يتراوح المدى الحراري لعمل هذا الجهاز بين 10 درجات مئوية تحت الصفر و40 درجة مئوية فوق الصفر، وتساوي عتبة التيار 80 ملي أمبير، وأما التيار المشغل (Operating Current) فيُساوي 190 ملي أمبير، وطول موجة الليزر 830 نانومتر. وأما نسبة انحراف الشعاع فهي 10×27 درجة. وقد حلّ التصميم الدقيق لهذا الجهاز، والبنية المميزة للبالوعة الحرارية، مشاكل الحرارة التي رافقت النُسخ السابقة من الجهاز الباعث للإشعاع تساوي قوته 30 ملي واط.

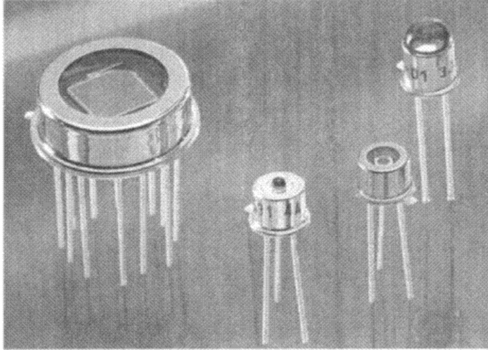
في هذا الفصل جرى إيضاح كيفية تحويل الطاقة الكهربائية إلى موجات ضوئية بالإضافة إلى أنواع الصمامات الثنائية المستخدمة في هذا التحويل. وفي الفصل الخامس سنلقي نظرة على الطرف الآخر من الليف لنفهم كيفية استقبال الإشارة الضوئية وطريقة تحويلها إلى إشارة كهربائية.

الفصل الخامس

المستقبلات - الصمامات الثنائية الضوئية

> تطرقنا في الفصل السابق إلى الطرق المستخدمة في عملية تحويل الإشارة الكهربائية إلى طاقة ضوئية. وفي هذا الفصل سنتكلم عما يحدث في الطرف الآخر من دليل الموجة الإلكتروني البصري، لنرى كيفية تحويل الطاقة الضوئية إلى إشارة كهربائية.

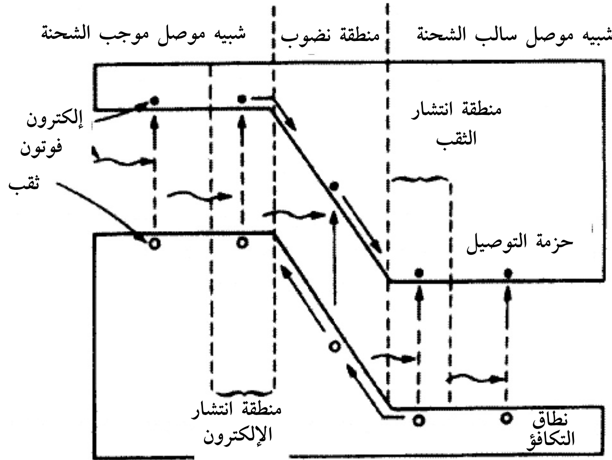
إن دارة كاشف الليف البصري (Fiber Optic Detector) هي عبارة عن ناقل طاقة إلكتروني بصري (Optoelectronic Transducer) يحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية. وأكثرها شيوعاً، الصمامات الثنائية البصرية. وسميت بذلك لقدرتها على استشعار الضوء وإنتاج تيار كهربائي كاستجابة للضوء الساقط. وهناك نوعان من الكواشف الضوئية المستخدمة في الألياف البصرية هي: الصمام الثلاثي الضوئي (PIN Diode)، والصمام الثنائي الضوئي التيهوري (Avalance Photodiode - ADP) (الشكل 5-1).



الشكل 5-1 الصمامات الثلاثية الضوئية (PIN Photodiode)، والصمامات الثنائية التيهورية (Avalanche Photodiode - ADP) (تقدمة LasIRvis).

5-1 تحويل الموجات البصرية إلى طاقة كهربائية

يستخدم الصمام الثنائي الضوئي لاستشعار الشعاع الضوئي البصري، ومن ثم يقوم بتحويل طاقة الشعاع البصري (أي الفوتونات) إلى طاقة كهربائية. وكما هو حال الصمامات الثنائية الباعثة للضوء (LEDs) والليزارت من ناحية المتطلبات الرئيسة، فإن الصمام الثنائي الضوئي يجب أن يكون صغير الحجم، متين، وذا عُمر تشغيلي (Operating Life) طويل الأمد، وأن تكون حساسية وسرعة استجابة الصمام عاليتين بالنسبة إلى معدل إرسال ما (أي أن يُصمم لاستشعار أقل طاقة إشارة ممكنة، لمعدل بت معين)، وأن يكون غير مكلفٍ من الناحية الاقتصادية، وذا معدل استهلاك للطاقة منخفض. وكما هو الحال في الصمامات الثنائية الباعثة للضوء والمرسلات الليزرية (Laser Transmitters)، فإنه من الممكن استخدام الوصلة الموجبة السالبة أو الوصلة الثنائية (P-N junction) للاستشعار البصري. ويُفصِّل الشكل 5-2 عمل الصمام الثنائي الضوئي.



الشكل 5-2 عمل الصمام الثنائي الضوئي

تُفصل ناقلتي الشحنة (الفراغات والإلكترونات) في منطقة نضوب الشحنات في شبه الموصل بواسطة المجال الكهربائي. تنتشر حاملات الشحنات في الوصلة الموجبة السالبة قبل أن تصل إلى منطقة النضوب (Depletion Region)، ومن ثم تنقل إلى المنطقة المحايدة المقابلة في شبه الموصل (Opposite Neutral Semiconductor Region). وينتج من ذلك تدفق تيارٍ بصريٍ في الدائرة الخارجية. وبما أن كمية الضوء المخرجة من الليف صغيرة جداً، فإن المستقبِلات البصرية ستوظف المضخمات الكهربائية الداخلية عالية الكسب لتحسين حساسية الدخل وبخاصة عند الترددات العالية. ويُقلّص عدد الحاملات الناتجة خارج منطقة الانتشار بسبب إعادة اتحاد الإلكترونات (Recombination)، وليس لدى هذه الحاملات تأثيرٌ ملحوظ في التيار البصري، كما وتقل الكفاءة الكلية بسبب عملية التحويل هذه.

تعتمد استجابة التردد (Frequency Response) لدى الصمام الثنائي الضوئي الكاشف (Photodiode Detector) الفعلية، بدرجة كبيرة على المواد المستخدمة في حيز الموجة التي يصنع منها الكاشف. وتعّرف كفاءة الصمام الثنائي الضوئي الكموميّة (Quantum Efficiency) بأنها «عدد أزواج الفراغات - الإلكترونات (Electron- Hole Pairs) الناتجة منسوبة إلى عدد الإلكترونات الساقطة (Incident Electrons)».

ويجب من أجل توليد تيار ضوئي أن تكون طاقة الفوتونات كافية لرفع الإلكترونات من حزمة التكافؤ (Valence Band) إلى حزمة التوصيل (Conduction Band) مروراً بحيز الموجة، ما يعني أن المواد المختلفة (مثل السليكون، وزرنيخيد الغاليوم، والجرمانيوم، وفوسفيد الأنديوم) ضرورية للاستعمال مع مختلف الأطوال الموجية.

فالسليكون مثلاً، ليس حساساً لأطوال موجية تزيد عن 1000 نانومتر، بينما يمكن استخدام الجرمانيوم، وزرنيخيد غاليوم الإنديوم لأطوال موجية أطول، وذلك لأن قدرة حيز عرض الموجة أقل، ما يجعل هذه المواد تستجيب للفوتونات الأقل نشاطاً .

ملاحظة: إن تركيبة الكاشف تحدد طول الموجة التي يكون فيها الكاشف حساساً. كما إن الفوتونات ذات الطول الموجي الأطول، لها قدرة أقل من الفوتونات ذات الطول الموجي الأقصر.

5-2 ميزات تصميم المُستقبِل البصري

على الرغم من بساطة تصاميم المُستقبل البصري بشكل عام (حيث إنه يتكون من صمام ثنائي بصري منتج ومضخم للتيار)، إلا أن معايير التصميم متشعبة بشكل كبير، وذلك، لأنه يجب الأخذ بعين الاعتبار عوامل مؤثرة عدة، مثل الضوضاء الناتجة من تيار الإشارة (Signal Current)، وضوضاء الصمام الثنائي البصري نفسه (ومثلاً، تولّد الصمامات الثنائية الضوئية التيهورية ضوضاء داخلية ناتجة من عامل التضاعف)، والضوضاء الناتجة من إلكترونيات المضخم، والضوضاء الحرارية لجهاز الاستقبال، والضوضاء الناتجة من التيار المتبقي، والنسبة بين الإشارة والضوضاء، اللازمة للحصول على معدل بت معين.

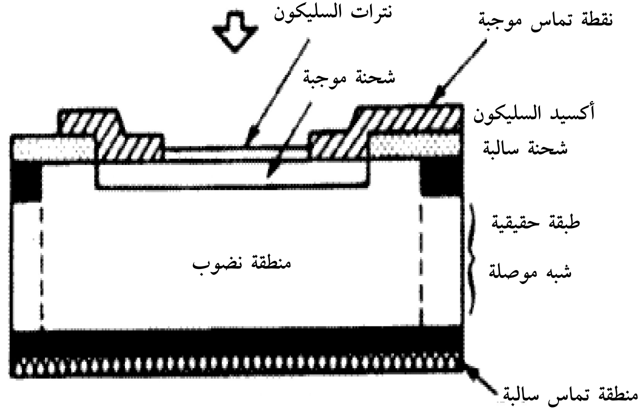
5-2-1 الصمام الضوئي الثلاثي

بما أن الصمام الثنائي الموجب - السالب يوّلد تياراً ناتجاً من الضوء الساقط، إلا أن لهذا الصمام سِمَتين تجعله غير مناسب للاستخدام في تطبيقات الليف البصري. إن السِمة **الأولى** هي أن مساحة منطقة النضوب في شبه الموصل صغيرة نسبياً، وبذلك فإن

كثيراً من الفوتونات الممتصة لا تنتج تياراً خارجياً، ولذلك يجب أن تكون الطاقة البصرية المدخلة عالية جداً لتولّد تياراً كافياً. وأما السِمة **الثانية** فهي الاستجابة البطيئة لهذا الصمام التي تجعله بطيئاً جداً بحيث تحدّ من مداه لكيلوهرتز واحد.

لقد صمم الصمام الثلاثي الضوئي للتغلب على هذه المشاكل، وتكوين مساحة منطقة نضوب كبيرة. كما وتقع الطبقة الحقيقية (Intrinsic Layer) خفيفة التنشيط (Lightly Doped) بين الطبقتين السالبة والموجبة كثيفتي التنشيط، ما يعني أن منطقة النضوب تمتص معظم الفوتونات. إن منطقة النضوب منطقة محايدة تقع بين المنطقة السالبة (N-Region)، والمنطقة الموجبة (P-Region).

إن ضم الطبقة الحقيقية إلى الصمام يقلل من قدرته الوظيفية، ويزيد من مساحة المقطع العرضي لمنطقة النضوب، ما يؤدي إلى زيادة الحد الأقصى لسرعة التبديل (Switching Speed) في منطقة جذب الفوتون. وينتج من ذلك إنتاج تيار خارجي عالي الكفاءة وذي سرعة أفضل. ويوضح الشكل 5-3 بنية الصمام الثلاثي الضوئي.



الشكل 5-3 بنية الصمام الثلاثي الضوئي السليكوني

5-2-2 الصمامات الثنائية الضوئية التيهورية

يقوم كل فوتون جرى امتصاصه في الصمام الثلاثي الضوئي بتوليد زوج واحد من الثقوب الإلكترونية، يسمح بدوره بتدفق إلكترون واحد في الدارة الخارجية. وأما في الصمامات ثنائية التيهورية، فينتج من الفوتونات القليلة الساقطة كثير من حاملات الشحنة، وبالتالي تزايد في التيار الخارجي. ويعتمد الصمام الثنائي التيهوري على ظاهرة مضاعفة التيهور حيث يقوم المجال الكهربائي القوي بتسريع حاملات الشحنة لدرجة كبيرة، بحيث إنها تصطدم بإلكترونات التكافؤ وتخرجها من شبكة شبه الموصل، ويحصل تيهور ناقلات الشحنة بوجود فولتية انحياز عالية.

إن فولتية التشغيل العالية تجعل من الصمام الثنائي التيهوري أسرع من الصمام الثلاثي الضوئي. وعلى أي حال، فإن الطبيعة غير المتساوية للتضاعف تُنتج ضوضاءً في الصمام. ويحتاج الصمام الثنائي السليكوني إلى مئات عديدة من الفولتات لتحقيق قوة مجال عالية (Highfield Strength) مكتسبة من مضاعفة التيهور (Avalanche Multiplication). إن تشغيل الصمام الثنائي الضوئي بنمط الصمام الثنائي التيهوري أو النمط الانهياري (Breakdown Mode)، يؤدي إلى تسارع الحاملات (Carriers) في المجال الكهربائي إلى وصول هذه الأخيرة إلى سرعة عالية ينتج منها تأين صدمي (Impact Ionization). وينبثق من ذلك عدد أكثر من أزواج ثقوب – الإلكترون (Electron-Hole Pairs)، التي سَتُضخم بشكل داخلي (Internally Amplify) التيار الضوئي الناتج.

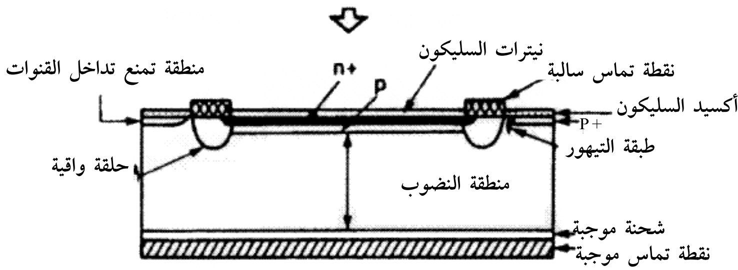
ومع تزايد الفترة الزمنية لإرسال الناقلات، فإن الكسب ـ السعة الموجية الناتج (Gain-Bandwidth Product) يبقى ثابتاً، ولكنه كافٍ لتحويل الطاقة البصرية التي تقع ضمن نطاق النانوواط (Nanowatt)،

وعند ترددات أعلى من الجيغاهرتز. وتستخدم حلقة واقية (Guard Ring) للحؤول دون حصول انهيار للحافة (Edge Breakdown)، كما إنها تحد من ظهور طبقات عاكسة محتملة على السطح. ويستخدم السليكون أساساً لاستشعار الموجات القريبة من حزمة الأشعة تحت الحمراء، وأما الجرمانيوم فيستخدم للأطوال الموجية الطويلة.

على الرغم من لاخطية (Non-Linearity) الصمامات الثنائية الضوئية التيهورية وعدم استقرارها، فهي تشبه إلى حد كبير الصمامات الثنائية الضوئية السليكونية التقليدية، إلا أنها تحتاج إلى فولتية تشغيل (Operating Voltage) أقل من أجل تحقيق التضاعف (Multiplication) الجيد.

5-2-3 الصمامات الثنائية الضوئية السليكونية

إن الصمامات الثنائية الضوئية السليكونية هذه (وبسبب صغر سعتها (Capacitance)، والضوضاء المنخفضة الناتجة من التيار المتبقي (Dark Current Noise)، مناسبة جداً للاستخدام كمستقبِل بصري (Optical Receiver).



الشكل 5-4 بنية الصمام الثنائي الضوئي السليكوني لتيهور الجسيمات

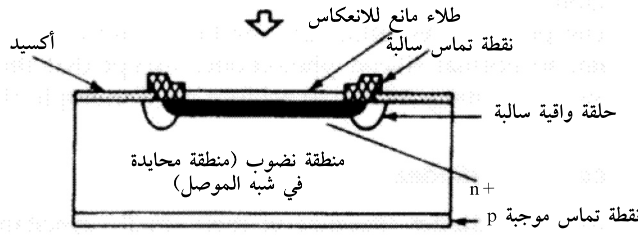
وعلى أي حال، فإن حيز عرض الموجة السليكوني (Silicon Band Gap) يحدّ من معدل الامتصاص (Absorption Rate) في هذه الصمامات، وبالتالي فإن الصمامات الثنائية السليكونية الضوئية (بالإضافة إلى الصمام السليكوني التيهوري) تستخدم عادة عند أطوال موجية تتراوح بين 800 و900 نانومتر فقط.

ويظهر الشكل 5-4 بينة الصمام الثنائي السليكوني الضوئي لتيهور الجسيمات. وعند مرور الضوء عبر الطبقة الموجبة (P-Layer) (المحمية بطبقة من نترات السليكون لمنع حصول الفقد الناجم عن الانعكاس)، تنفصل أزواج الناقلات (Carrier Pairs) عن بعضها في منطقة النضوب (حيث تتدفق الإلكترونات نحو الجهة السالبة -N Side)، أما الثقوب فتتدفق نحو الجهة الموجبة (P-Side).

5-2-4 صمامات الجرمانيوم الثنائية الضوئية

تستخدم أشباه الموصلات المصنوعة من الجرمانيوم والمركبات الأخرى المشابهة، عند أطوال موجية تبلغ 1300 و1500 نانومتر. وذلك لأن معدل امتصاص الصمام الثنائي السليكوني الضوئي منخفض عند أطوال موجية تفوق بطولها الـ 1100 نانومتر (وينتج ذلك بسبب نطاق الطاقة السليكوني).

ويتألف الصمام الثنائي في هذا النوع من الصمامات (الظاهر في الشكل 5-5)، من مادة منشطة بالجرمانيوم الموجب المحاطة بحلقة واقية سالبة منشطة، ووصلة سالبة موجبة تنتج على السطح بسبب الانتشار (Diffusion) وزرع الأيونات (Ion Implantation). إن استعمال طلاء من مادة أكسيد السليكون مانع للانعكاس، يزيد من الفاعلية الكمومية (Quantum Efficiency) لهذا الصمام الثنائي.



الشكل 5-5 بنية صمام الجرمانيوم الثنائي الضوئي التيهوري

5-2-5 صمام زرنيخيد غاليوم الأنديوم الثنائي الضوئي

لسوء الحظ، فإن لدى صمامات الجرمانيوم الثنائية الضوئية قيوداً تحدّ من عملها في منطقة الطيف، مثل الضوضاء العالية، والاستجابة المنخفضة (Low Responsiveness)، والمعاوقة الديناميكية (Dynamic Impedance). ولهذه الأسباب، تستخدم صمامات زرنيخيد غاليوم الإنديوم الثنائية الضوئية، عادة.

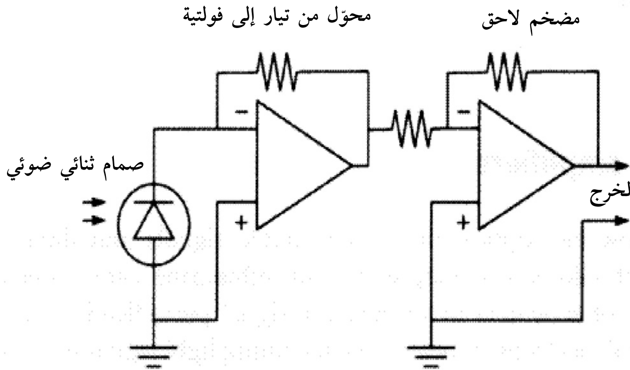
تمتاز صمامات زرنيخيد غاليوم الإنديوم (InGaAs) في أن قدرة الضوضاء المكافئة (Noise Equivalent Power) فيها تقل عن نصف قدرة الضوضاء المكافئة في صمام الجرمانيوم الثنائي الضوئي من الحجم نفسه، ما يُمكّن هذا الصمام من استشعار الضوء من مسافات أبعد وبدقة أكبر.

5-3 أنواع المستقبلات

إن المستقبِلات الضوئية، وكما هو الحال في المرسلات متوافرة بكلا النوعين الرقمي (Digital) والتماثلي (Analog)، ويُوظِفُ كِلا النوعين عادةً مرحلة تناظرية تسبق التضخيم، وتتبعها مرحلة الناتج التماثلي أو الرقمي (ويعتمد ذلك على نوع الجهاز المستقبِل).

5-3-1 المستقبِل الليفي البصري التماثلي

إن المرحلة الأولى في المستقبل الليفي التماثلي هي عبارة عن مضخم تشغيل (Operational Amplifier) يعمل كمحوِّل تيار - إلى - فولتية (Current-to-Voltage Amplifier) (الشكل 5-6). ويجري في هذه المرحلة تحويل التيار الضئيل في الصمام الثنائي الضوئي إلى فولتية ضمن نطاق الملي فولت (mv). وأما المرحلة التالية فهي عبارة عن عملية بسيطة لتضخيم فولتية التشغيل (Operational Voltage Amplification). وبهذا يُرفع مستوى الإشارة إلى مستوى الخرج (Output Level) المطلوب.

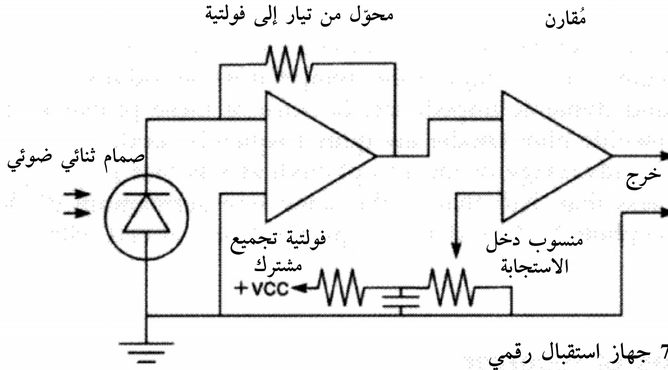


الشكل 5-6 محوّل (ليف بصري) تماثلي

5-3-2 المُستقبِل الليفي البصري الرقمي

يُظهر الشكل 5-7 بنية المُستقبل الضوئي الرقمي. وكما هو الحال في المستقبل التماثلي، فان المرحلة الأولى في المستقبِل الرقمي هي مرحلة تحويل تيار - إلى - فولتية. وعلى أي حال، يجري إدخال الفولتية الناتجة من المرحلة السابقة في مقارن فولتي (Voltage Comparator)، وينتج من ذلك إشارة خرج رقمية نظيفة ذات زمن نهوض (Rise Time) سريع. إن تعديل مستوى الإطلاق

(Trigger Level Adjustment)، يستخدم من أجل تحديد النقطة (موجودة على الإشارة التماثلية) التي يقوم فيها المقارن بالتبديل (Switch)، ما يسمح بانتظام تناظر (Symmetry) الإشارة الرقمية المستعادة بالدقة المطلوبة.



شكل 5-7 جهاز استقبال رقمي

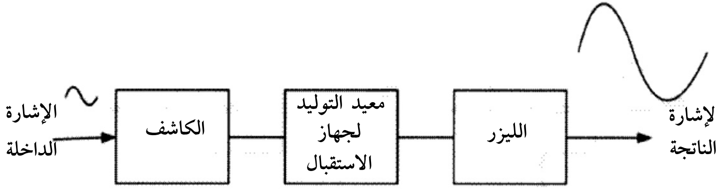
ملاحظة: تضاف المراحل الإضافية عادة إلى المستقبلات التماثلية والرقمية لتؤمن مسوقات للكابلات متحدة المحور (Coaxial Cables)، ومحوّلات البروتوكول (Protocol Converters)، وذلك لإعادة توليد الإشارة الأصلية بالدقة نفسها إذا أمكن.

4-5 مضخمات الألياف

على الرغم من أن الألياف البصرية القليلة الفقد تسمح بانتقال الإشارات والبيانات عبر مئات الكيلومترات، إلا أن كابلات الإرسال التي تستخدم للبث عبر المسافات البعيدة (Long-Haul Cables) وفي أعماق البحار، تحتاج إلى مولدات (Regenerators) و/أو مُكررات (Repeaters) وذلك من أجل تضخيم الإشارة بشكل دوري (الشكل 5-8).

وفي المكررات الإلكترونية العادية يجري تحويل الإشارة الضوئية إلى إشارة كهربائية (باستعمال الكاشف)، ومن ثم تُضخم

(بواسطة جهاز يعيد توليد الإشارة (Regenerator))، ومن ثم يعاد إرسالها باستخدام مُرسل ليزري (Laser Transmitter) آخر على شكل إشارة بصرية. وعلى أي حال، فإن هذا النوع من المكررات يضيف الكثير من الضوضاء إلى الإشارة. وبما أن تركيبة هذه الأجهزة معقدة، فهي عرضة للتوقف عن العمل. ولذلك يجب أن تصنع لتوافي معدل بت (Bit Rate) لعملية الإرسال، كما إن تحديث و/ أو تصليح هذه الأجهزة يتطلب عادةً استبدال كل المكررات. ومن الصعب تحقيق ذلك إذا كان الكابل موضوعاً في أعماق البحار!



الشكل 5-8 بنية المكرر الإلكتروني

5-4-1 المكرر المضخم الليزري

إن وظيفة المكرر (Repeater) أو معيد توليد الإشارة (Regenerator) الأساسية هي استقبال الإشارة البصرية وتحويلها إلى إشارة كهربائية، ومن ثم تضخيم (أو إعادة توليد) المعلومات وتحويلها إلى إشارة بصرية من جديد. ولذلك تصبح الحاجة إلى جهاز المكرر أو معيد توليد الإشارة ضرورية عندما يصل فقد الإشارة البصرية إلى المستوى الحرج (Critical Level). ويعتمد ذلك على عدد من العوامل مثل نوع المصدر المرسل (Transmitter Source)، وطول موجة المُرسل الموجي (Transmitter Wavelength)، ونوع الليف، ومعدل الإرسال (Transmission Rate). وبإمكان مضخمات الليف المبنية من مادة الفلوريد (Flouride) أو التليوريت (Tellurite) أن تؤمن مستويات

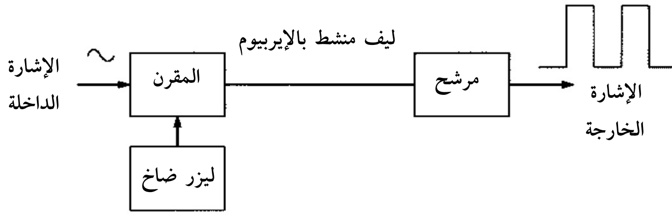
تضخيم لا يمكن تحقيقها بواسطة المضخمات المصنوعة من السليكون.

قامت شركة بريتيش تيليكوم (British Telecom)، في أوائل التسعينيات من القرن الماضي، باختبار ناجح لجهاز مكرر مضخم ليزري تجريبي (Experimental Laser Amplifier Repeater) على رابط ليفي طوله 120 كيلومتر يصل بين بدالتي هاتف (Telephone Exchange) جنوب شرق مدينة لندن. وكان هذا المضخم مصنّعاً من عدسات شبه موصلة وظيفتها استقبال النبضة القادمة (Incoming Pulse) من ضوء الليزر عند طرف واحد، وتقوم ببث نبضة مُضخّمة أخرى عند الطرف الآخر. وكان هذا مساوياً من الناحية البصرية لعمل أنبوب انتقال الموجة (Traveling Wave Tube) الذي يُستخدم لتضخيم الموجات الميكروية الراديوية (Microwave Radio). وأظهر هذا الاختبار أن الجهاز قادرٌ على تضخيم نبضات عديدة منفصلة ذات ترددات ضوئية مختلفة في آن واحد، وذلك باستخدام تقنية المضاعفة بتقسيم طول الموجة (Wave Division Multiplexing - WDM).

كان هذا المُضخم الذي استخدمته بريتيش تيليكوم عبارة عن ليزرٍ قناة مزدوجة مختلف البنية كامن (Double Channel Planar Buried Heterostructure Laser)، يُقدّر طوله بحوالى 500 ميكرومتر وذا وجه مطلي بمادة مانعة للانعكاس، وذلك لتقليص قدرة وجه الليزر على عكس الضوء بحوالى 500 مرة (أي تصبح نسبة الانعكاس حوالى 0.08 في المئة). أما كسب المضخم (Amplifier Gain) فيُساوي 17 دسيبل . أما جهاز الإرسال فهو عبارة عن ليزر ذي تغذية ارتجاعية متوزعة (Distributed Feedback Laser)، ويبث عند طول موجي يُساوي 1.5 ميكرومتر (أي 1500 نانومتر)، وأما قدرته فهي 2 دسيبل تحت الصفر. وأما بالنسبة إلى المستقبِل فقد كان عبارة عن ترانزيستر للتحكم بالتوصيل ذي وصلة ثلاثية (PIN-FET).

5-4-2 مضخمات الليف المنشطة بالإيربيوم

جرّب المصنعون المضخمات الليفية لسنوات عديدة. وكان أكثرها نجاحاً المضخمات الليفية المنشطة بمادة الإيربيوم (Erbium-Doped Fiber Amplifier - EDFA) العاملة عند طول موجي 1550 نانومتر (الشكل 5-9).



الشكل 5-9 المضخم الليفي المنشط بمادة الإيربيوم

يتكون هذا النوع من المضخمات من ليف منشط بعنصر الإيربيوم الذي جرى ضخه (بواسطة الليزر) عند طول موجي يُساوي 980 نانومتر. ويقوم الليزر الضاخ (Pump Laser) بتنشيط المُضخم، كما تقوم الإشارات الداخلة (Incoming Signals) بتحفيز الانبعاث عند مرور النبضة في الليف المنشط. أما الانبعاث المُحَفّز فينتُجُ عنه انبعاثاً أكبر، ما يتسبب بنموٍ أُسّي سريع للفوتونات (Rapid Exponential Growth of Photons) في الليف المنشط. وتُستخدم شبكية براغ (Bragg Grating) (وهي عبارة عن مرشحات مركبة في الألياف) لتسطيح الكسب في النطاق الأعرض لطول الموجة، وذلك لاستخدامها في أنظمة المضاعفة بتقسيم طول الموجة (Wave Division Multiplexing - WDM).

5-4-3 مضخمات ليف الفلوريد المنشط بالإيربيوم

يُظهر هذا النوع من المضخمات كسباً ذا طيف مُسطح (Flat Spectral Gain) من دون الحاجة إلى جهاز للمعادلة (Equalizer

(System، كما إنها تقدم ميزات كثيرة إذا ما استخدمت في أنظمة (WDM). إذ بالإمكان الحصول على كسب تصل قيمته إلى أكثر من 40 دسيبل (أي 10000 ضعف القيمة المعتادة) وناتج قدرة (Power Output) (وحدة قوة – dBm) تقدر بـ 100 mW أو اكثر عند استعمال المضخمات الليفية المنشطة بمادة الإيربيوم، وبما أنه بالإمكان تحفيز أيونات الإيربيوم (Er^{3+}) لكي تبثّ عند طول موجي 1540 نانومتر (أي الموجة التي يكون فيها فقد القدرة عند أدنى مستوى له في معظم الألياف المصنوعة من السليكا فإنها قادرة على تضخيم الإشارات في حزمة موجية تحتاج إلى مضخمات عالية الجودة).

والميزة المهمة الأخرى لمادة الإيربيوم، هي سرعة ذوبانها في مادة السليكا، ما يجعل عملية التنشيط أسهل عند صناعة ليف السليكا.

5-4-4 مضخمات ليف التيللوريت المنشط بالإيربيوم

إن لهذا النوع من المضخمات سعة موجية ذات كسب فائق العرض (Ultra-Broad Gain Bandwidth) تقدر بحوالى 80 نانومتر مع إمكانية تزايد عدد القنوات في أنظمة المضاعفة بتقسيم طول الموجة (Wavelength Division Multiplexing).

5-4-5 مضخمات ليف الفلوريد المنشط بالبارسيوديميوم

بما أن معظم المنظومات تعمل عند طول موجي 1310 نانومتر، إلا أنه وبعد إجراء دراسات علمية، كمحاولة لإيجاد مواد تعمل عند أطوال موجية أعلى من الأطوال الموجية التي تعمل عندها المضخمات البصرية بشكل فاعل، أصبحت مضخمات الليف الفلوريدي المنشط بالبارسيوديميوم (PDFFA) والألياف المصنوعة

من فلوريد الزركونيوم (Zirconium Fluoride) أو فلوريد الهافنيوم (Hafnium Fluoride) متوافرة الآن، كما إن لديها مستقبَلاً واعداً في عالم الاتصالات.

5-4-6 المضخمات الضوئية شبه الموصلة

وهو مضخم جديد يجري تطويره حالياً يضاعف وظيفة مضخم الليف البصري (Fiber Optic Amplifier - FOA) ولكن في دارة متكاملة (Integrated Circuit) مثل الصمام الثنائي الليزري.

> تحدثنا في هذا الفصل عن مزايا تصاميم جهاز المستقبِل الضوئي (Optical Receiver)، وأنواع المستقبِلات المتوافرة، كما وتحدثنا عن الأنواع المختلفة للمضخمات الليفية أيضاً. وأما في الفصل السادس فسنتحدث عن كيفية ربط أجهزة الاستقبال وأجهزة الإرسال مع الألياف.

الفصل السادس

الموصّلات والمُقْرِنات

اطّلعنا في الفصول السابقة على ميزات وبنية دليل الموجة الإلكتروبصرية وكيف تحوّل أجهزة الإرسال/ الاستقبال الإلكترونية البصرية الإشارة الكهربائية إلى طاقة ضوئية والعكس. وأما في هذا الفصل فسنتحدث عن طرق وصل الألياف بجهاز المرسل/ المستقبِل وإمكانية وَصْلِ الألياف و/أو ربطها مع بعضها البعض.

إن الموصّلات (Connectors) والمقرنات البصرية (Optical Couplers) هي وسائل يتمّ من خلالها وصل الليف البصري بشبكة الأجهزة وبألياف أخرى أيضاً. وعلى الرغم من أن الناحية الوظيفية والمظهر الخارجي لهذه الموصلات شبيهة بنظائرها الكهربائية، إلا أنها أجهزة عالية الدقة تُمَركِزْالليف الصغير بحيث يقع لبّهُ مباشرة مقابل مصدر الضوء. وبما أن حجم لب ليف الـ 50 ميكروناً التقليدي هو 0.002 بوصة فقط، فإن مَركَزة اللب تقتضي مناورة تبلغ بضع عشرات بالألف من البوصة الواحدة.

6-1 الموصّلات

يعرف موصّل الليف البصري بأنه «جهاز توصيل مؤقت بين طرفي ليفين مختلفين، أو بين طرف الليف وجهاز الإرسال أو جهاز الاستقبال». ويركب الموصّل على طرف السلك أو بمجموعة ألياف، كما إنه مصمم من أجل التركيب والفك المتكرر على الموصلات

المماثلة الأخرى، أو الأجهزة الأخرى (الشكل 6–1).

● يمكن استعمال الموصلات في الأماكن الآتية:

● داخل المبنى لوصل الروابط البيانية القصيرة (Short Data Links).

● عند النقطة التي يدخل منها نظام الاتصال إلى المبنى.

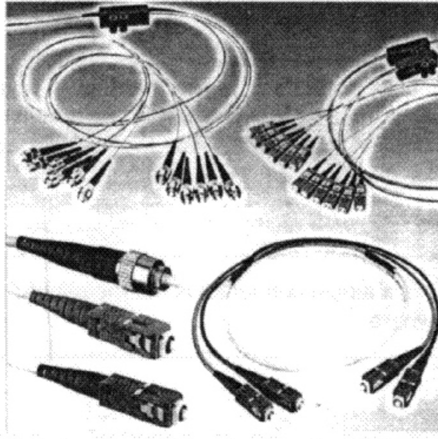
● السطح البيني بين الأجهزة وشبكات المنطقة المحلية (Local Area Networks - LANs).

● عند لوحات الوصل (Patch Panels) التي توجه الإشارات داخل المبنى.

● للوصل بين الأجهزة الموجودة عند أطراف الألياف وأجهزة الكمبيوتر.

● الوصل المؤقت بين كاميرات الفيديو المتحركة وأجهزة التسجيل المحمولة، أو أجهزة الدراسة والبحوث المؤقتة.

● في الأجهزة العسكرية المحمولة.



الشكل 6–1 أمثلة على موصّلات الليف البصري وتركيبات الكبلات (تقدمة شركة كورنينغ لأنظمة الأسلاك Corning Cable Systems GmbH)

6-1-1 مستلزمات المُوصّل

تقتضي الحاجة الأساسية أن يكون موصّل الليف البصري سهل التجميع، وذا بنية متينة، وفقد منخفض، وأن تكون هناك إمكانية استعادة بعض من الفقد حتى بعد عملية الوصل المكرر (Repeated Mating). ومن المهم أيضاً أن يتم تصميم موصّلات الليف البصري بحيث إنها لن تلحق ضرراً في طرف الليف، ما يسبب فقداً أكثر في الإشارة إذا ما حدث ذلك.

والمزايا المثالية للموصلات هي:

- أن يكون لديها فقد إشارة منخفض.
- سهولة التركيب.
- إمكانية الاستعمال المتكرر ـ أي توصيل وإعادة توصيل لعدة مرات دون زيادة كمية الفقد.
- أن تكون ثابتة ـ بحيث إن كمية الفقد، في أي وقت، عندما يتم وصل الموصّل بالليف.
- أن تكون غير مكلفة من الناحية الاقتصادية ـ من حيث سعرها وسعر المعدات المستخدمة لتركيبها.

6-1-2 جودة الموصّل

تعتمد جودة الموصّلات على عوامل عدّة مثل نوع الليف، وقدرة تحمّل قُطر الليف، وعدم تناظر الليف (Fiber Asymmetry)، وكثافة لب الليف، وتغييرات الفتحة العددية ونوع التصفيح المستخدم.

6-1-3 توهين الموصّل

من العوامل الوظيفية الأساسية للموصّلات هو مقدار الفقد الناتج منها، ويصل الفقد في أفضل الموصّلات إلى ما دون دسيبل واحد، إلا أن الفقد في الموصّلات الأقل جودة أكبر من ذلك بكثير. إن فقد الموصّلات يُعنى به الفقد الناتج عند تقابل زوج من الألياف (Mated Pair) أي فقد بعض الضوء العابر من ليف إلى آخر، أو من جهاز إلى آخر.

ملاحظة: إن الفقد في موصّل واحد لا يؤثر كثيراً في الشبكة، وذلك لأن الضوء لا يخرج من المنظومة.

والعامل الآخر المؤثر في أداء الموصّل هو نوع الليف المستخدم، وذلك بسبب طريقة دخول الضوء وخروجه من الألياف والموصّلات المختلفة، بالإضافة إلى أن معظم الموصّلات تصنّع خصيصاً لأنواع معينة من الألياف.

إن حجم توهين الموصّل عبارة عن مجموع الفقدانات الناتجة من عوامل عديدة، وهي ناتجة بدورها من تغييرات في قُطر اللب وكثافته، وعدم تمركزية اللب (Eccentricity of the Core)، واللاخطّية في الاصطفاف (Lateral Alignment). وتؤثر العوامل المهمة الناتجة من الفقدانات، الذاتية والخارجية، على ما يلي:

- تداخل ألباب الألياف (Overlap of Fiber Cores).
- صفّ محاور الليف (Alignment of Fiber Axes).
- فتحة الليف العددية (Fiber Numerical Aperture).
- الانعكاس عند أطراف الليف.

- المسافة الفاصلة بين ليف وآخر.

وتتضمن العوامل الذاتية ما يأتي:

- التَراكُز (Concentricity) - أي إن اللب ليس مركزياً ضمن التصفيح.
- الإهليليجية (Elepticity) - أي أن اللب بيضاوي الشكل (Oval-Shaped).
- عدم تطابق الفتحة العددية (Numerical Aperture Mismatch) - ينتج ذلك لأن لب الليف المُرسِل أكبر من لب الليف المستقبِل (ضمن قدرة التحمّل بالطبع)، أو بسبب اختلاف أحجام تصفيح الألياف (ما يمنع الصف الدقيق لألباب الألياف مع بعضها).

العوامل الخارجية أو العارضة، هي:

- الاصطفاف الجانبي (Lateral Alignment) - أي إن الموصّلات ليست مصفوفة بشكل مركزي داخل التصفيح.
- فصل الأطراف (End Separation) - تتعرض الألياف المفصولة عن بعضها بفجوة صغيرة لفقدين اثنين. **الأول**، وهو الانعكاس حسب مبدأ فرنسل (Frensel Reflection)، وينتج من اختلاف مُعامل الانكسار في الليف ومعامل الانكسار في الفجوة، وتكون هذه الفجوة عادةً عبارةً عن فراغ هوائي. وأما الفقد **الثاني** فهو فقد متعدد الأنماط، وذلك أن الأنماط ذات الترتيب العالي لا تقع ضمن مخروط القبول (Acceptance Cone) حيث تفشل في دخول لب الليف الآخر. وعلى الرغم من أن استعمال مادة سائلة للتطابق (Liquid Matching Fluid) يساعد على تقليص فقد فرنسل (Frensel Loss)، إلا أن استعمال هذه المادة غير محبذ، وذلك لإمكانية تجمع الغبار على الموصّل.
- الفصل الزاوي (Angular Separation) - يجب أن تكون أطراف الموصّل عمودية على أطراف الليف.

• صقل السطح (Surface Finish) - يجب أن يكون سطح الليف ناعماً وخالياً من الشوائب.

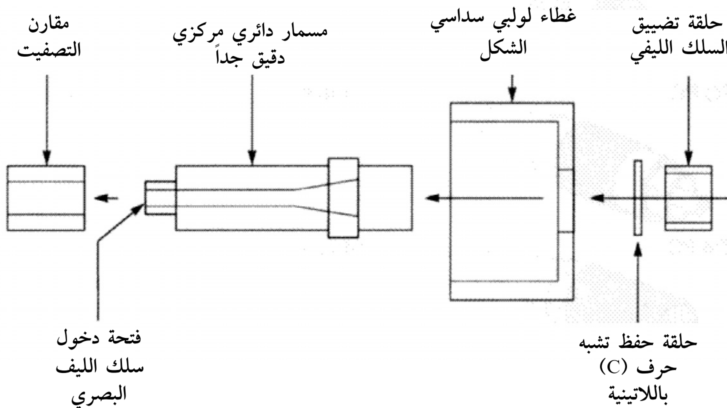
ملاحظة: إن فقد الإدخال (Insertion Loss) لدى الموصّل هو الفقد الذي يضيفه الموصّل إلى النظام، ويقاس بالدسيبل.

6-1-4 أنواع الموصّلات

هناك عدد من أنواع الموصّلات البصرية المستخدمة في يومنا هذا، كما هو ظاهر في الجدول 6-1.

6-1-4-1 موصّل التجميع الثانوي المتعدد (SMA)

طُوّر هذا النوع من الموصّلات قبل اختراع الليف مفرد النمط، وهو أكثر الأنواع استعمالاً حتى الآن. ويظهر الشكل 6-2 أجزاء الموصّل بشكل مفصّل.



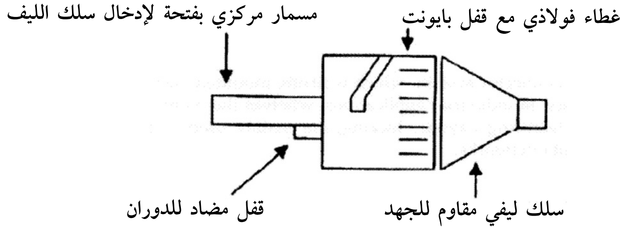
الشكل 6-2 الموصّل ذو التجميع المتعدد الثانوي (Sub Multiple Assembly - SMA)

الجدول 6-1 أنواع الموصلات

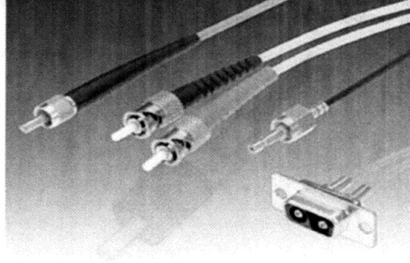
	فقدانات الموصل (في تصميم النظام)	
نوع الموصل	متعدد الأنماط (62.5 ميكرومتر)	مفرد النمط
ST PC Compatible	0.3 (0.5)	0.3 (0.8)
FDDI	0.3 (0.7)	غير متوفر
SMA 905/906	0.8 (1.8)	غير متوفر
Mini BNC	0.5 (1.0)	غير متوفر
Biconic	0.7 (1.4)	0.7 (1.3)
FC PC	0.4 (0.9)	0.3 (0.5)
D4 PC	0.4 (0.9)	0.3 (0.5)

6-1-4-2 موصّلات التثبيت والفتل (ST)

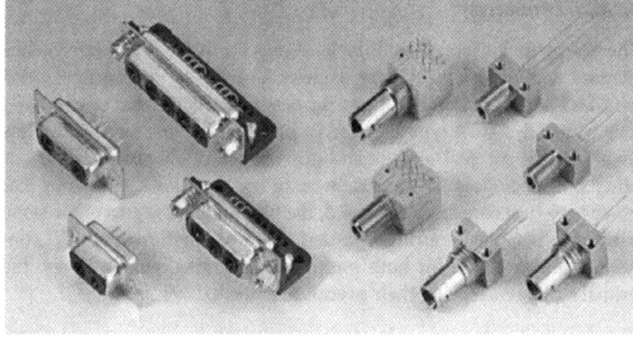
إن هذا النوع من الموصّلات هو من أكثر الأنواع شيوعاً واستعمالاً في يومنا هذا (الشكل 6-3 و6-4). وقد طوّرت شركة (AT&T) موصّلات التثبيت والفتل ST للاستخدام في الاتصالات السلكية واللاسلكية؛ ويثبّت هذا الموصّل على الليف بواسطة آلة تدوير خاصة ومن ثم يُقفل. ويقدر فقد موصل (ST) بأقل من دسيبل واحد (20 في المئة)، كما إنه لا يحتاج إلى مقارن صفّ (Alignment Sleeve)، أو أجهزة أخرى مشابهة. ويضمن إضافة «قفل مانع للدوران» (Anti - Rotation Tab) عودة الألياف إلى النقطة نفسها التي بدأت منها بالدوران في كل مرة تجري فيها مقاربة الموصّلات ما يضمن أداءً موّحداً وثابتاً. وتتوافر موصّلات (ST) لكلا نوعي الألياف متعدد الأنماط ومفردة النمط. والفرق الأساسي بينهما هو في القدرة الكلية للتحمل.



الشكل 6-3 موصّل التثبيت والفتل



الشكل 6-4 موصّل التثبيت والفتل النموذجي



الشكل 6-5 أمثلة على موصّلات لوحة الكمبيوتر

يُستعمل نظام موصّلات (SMA) المثبت (الشكل 6-5) عادة في التطبيقات الصناعية، أما موصّلات (ST) ذات قفل بايونت (Bayonet Locking) فهي الأكثر استعمالاً في ميدان شبكات بيانات الكمبيوتر (Computer Data Networks).

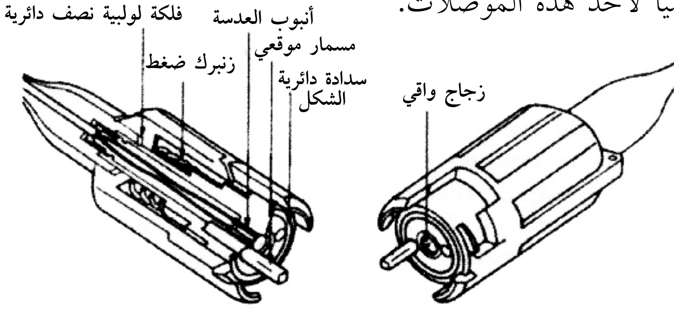
6-1-4-3 موصلات الليف المفرد

يظهر الشكل 6-6 مثالاً على موصّل ليف المعامل المتدرج حيث يوصَلُ السلك بالقابس من خلال العقص أو التغضين/ أو التضييق (Crimping). وعندها يوصل السلك بناقل طاقة إلكترو ـ بصري (Optoelectronic Transducer) باستعمال صمولة تقارن (Coupling Nut) موجود على القابس.



الشكل 6-6 موصّل الليف البصري.

وتدعم كثير من الشركات الأنواع المختلفة من الألياف التي تصنعها بموصلات كهذه. ومثلاً، في أوائل التسعينيات من القرن الماضي، أنتجت شركة (STC) مجموعة من تركيبات أسلاك الليف البصري مصممة خصيصاً للبيئات الصعبة، تتألف من ألياف مزدوجة (Twin Fibers)، مغلّفة بمادة بوليستر متينة ذات قابلية اشتعال منخفضة جداً، وذات قدرة تَحَمُّل تقدر بـ 2000 نيوتن، ويتم إنهاء (Termination) الليف بموصّلات الشعاع الموّسع الخنثية (Hermaphroditic Expanded Beam Connectors). إن لهذه الأسلاك والموصّلات فقداً كلياً يَقدر بأقل من 4 dB/km على موجة بطول 1300 نانومتر. كما إن وزن سلكٍ طولهُ كيلومتر واحد يُساوي 31 كيلوغراماً، وهذا يعادل حوالى ربع وزن، ونصف حجم السلك متحد المحور المستعمل في الجيش. ويظهر الشكل 6-7 رسماً تفصيلياً لأحد هذه الموصلات.



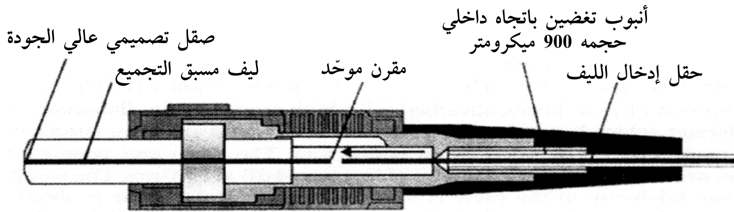
الشكل 6-7 البنية النموذجية لتجميع الليف البصري (تقدمة STC)

يتزوّد كل موصّل بقفل بايونت مثبتاً بواسطة سلك فولاذي مقاوم للصدأ، ونافذة لحماية العدسات ولتسهيل تنظيفها. وتغطى هذه النوافذ والعدسات بغشاء رقيق مضاد للانعكاس (Anti-Reflective Film) لتقليص الفقدانات والتشويش الصوتي (Crosstalk). وفي حال اتساخ النافذة بشكل دائم، فإنه بالإمكان استبدالها وبغضون ثوانٍ قليلة

باستعمال أدوات يدوية بسيطة. وإضافة إلى ذلك فإن كل مواد كبلات الألياف والموصّلات، مضادة للتفاعل مع المواد النفطية، والديزل، وزيوت التشحيم، والزيوت الهيدروليكية، والمحاليل القلوية. كما إن بنية الموصّل الحاجز (Bulkhead Connector) شبيهة ببنية الموصّل الحر (Free Connector) ويمكن قولبة الموصّل باستعمال البوليكربونات المُطعّمة للألياف الكربونية (Carbon Fiber-Loaded Polycarbonate) وذلك لتأمين حماية ثابتة ضد تأثير الكهرومغنطيسية عبر الليف.

6-1-4-4 موصّلات حزم الألياف

تتوافر موصّلات حزم الألياف (أي الموصلات التي تحتوي على مئات من الألياف المفردة) بكثرة حالياً على الرغم من أن فقد الإدخال (Insertion Loss) قد يكون عالياً قليلاً، بسبب التوهين الناتج من الألياف، إلا أن هذا الفقد مقبول إلى حد ما.

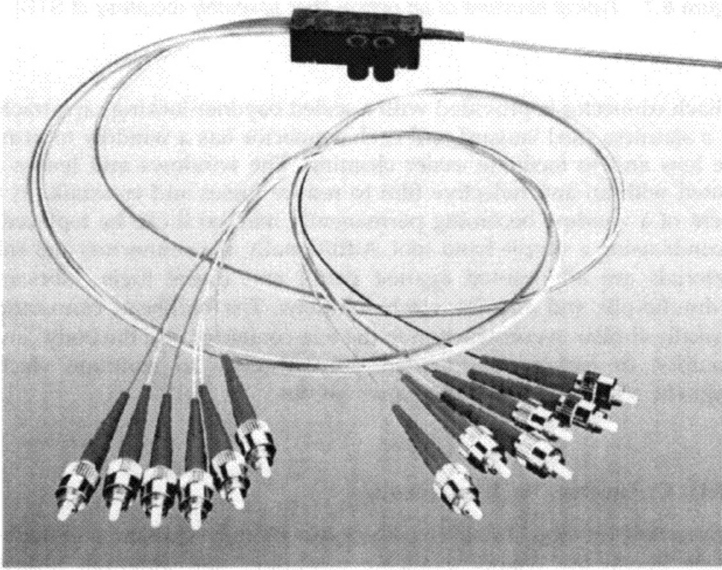


الشكل 6-8 موصّلات مع ألياف ذات تركيب تصميمي مسبق التجميع (تقدمة كورنينغ لأنظمة الأسلاك)

يتضمن الموصّل (في الشكل 6-8) طرف ليف مسبق التجميع (Pre-Assembled Fiber End) وموصّل عالي الجودة. إن هذا النظام مثالي من حيث سرعة تركيبه، وكلفته، وسهولة استعماله.

والشكل 6-9 هو مثال عن كبلات التمديدات العمودية الموصلة (Connectorized Riser Cables) المناسبة للاستعمال الداخلي والخارجي.

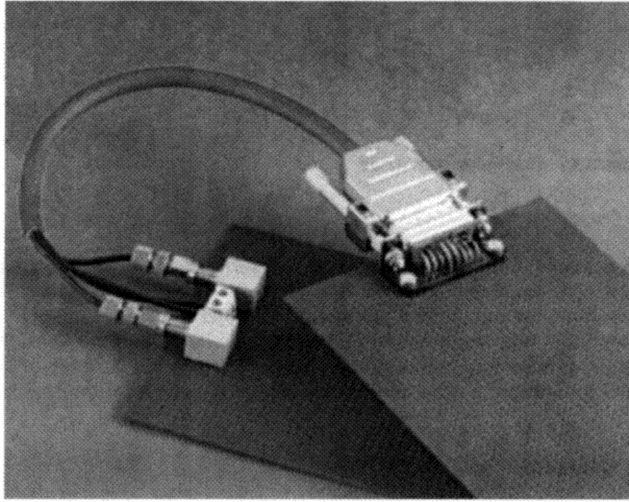
إن بالإمكان توزيع ما يصل إلى 144 ليف من دون صعوبة، ويرمز للألياف المفردة بالألوان من أجل تسهيل التركيب.



الشكل 6-9 كابلات التمديدات العمودية الموصلة (تقدمة تقدمة كورنينغ لأنظمة الأسلاك)

6-1-4-5 وصل التيار الكهربائي والضوء باستعمال كابل ليفي

من الممكن إرسال البيانات الضوئية والتيار الكهربائي في الحالات الخاصة، وتحديداً عندما تكون مسافات البث أطول من المعتاد باستعمال كابل وموصّل واحد فقط. وقد طُوّرت موصّلات نوع (D-Sub) ذكري وأنثوي (Male and Female D-Sub Connectors) تتضمن أجزاء مختلفة للاستعمال مع الأسلاك الليفية البلاستيكية (الشكل 6-10).

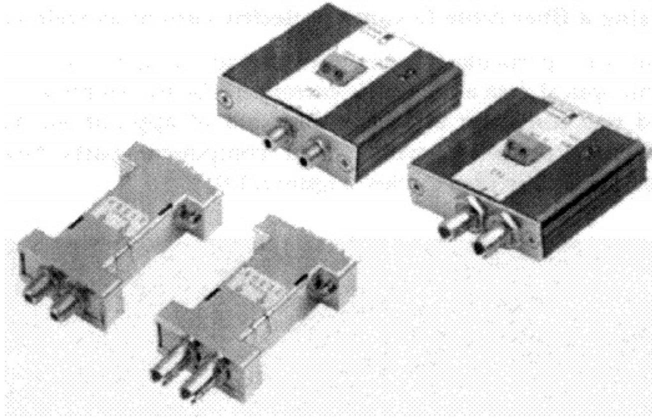


الشكل 6-10 إرسال التيار الكهربائي والضوء باستعمال كابل ليفي

تتضمن الأسلاك الهجينة المستخدمة لهذه الغاية الألياف البصرية البلاستيكية والأسلاك النحاسية. كما وتتوافر موصلات مصممة للاستعمالات الثقيلة والمقاومة للجهد الميكانيكي (المستخدمة مثلا في المصانع). وفي معظم الحالات تتوفّر مساحة كافية لتكامل ناقلات الطاقة في الموصلات الذكرية (Male Connectors). وبالتالي فإن قطبي التماسات الكهربائية يُقبسَا من خارج الموصل، في حين ترسل المعلومات عبر السلك بواسطة الألياف البصرية.

إن احتمالات توسيع بنية أو وظيفة نظام الأسلاك النحاسية، تصبح محدودة بسبب كمية المناعة ضد الضجيج وبسبب تصميم السطح البيني الكهربائي أيضاً. وبالإمكان التغلب على هذه المعوقات وبخاصة عند زيادة مدى استخدام هذا النظام، وذلك من خلال استعمال سطح ليف بصري بيني ذي قابس (Plug-In Optical Fiber Interface) (الشكل 6-11). وعلى سبيل المثال، فإن نظام (RS232) الذي يحتوي أسلاك نحاسية تمتد لعدة أمتار، يصبح عرضة للتداخل

(Interference) إذا زاد طول الأسلاك قليلاً. إلا أن استخدام السطح البيني لليف البصري ساعد على زيادة مدى هذا النظام (لثلاثة كلم أو أكثر). كما إن المضاعفة (Multiplexing) ساعدت على خفض الكلفة أيضاً.



الشكل 6-11 السطح البيني للناقلات (Interfaces and Buses).

وينطبق ذلك أيضاً على نظام (RS 485). وبالفعل، فإن توسيع النظام أمر عملي، كما إن عدد المستخدمين يُحدد بعدد العناوين المنطقية (Logic-Addresses) فقط، والموجودة في أنظمة الكومبيوتر، وليس بالمعاوقة الكلية للأسطح البينية الكهربائية (Total Impedance of the Electrical Surface).

6-2 المقرنات

إن بالإمكان تصليح ليف بصري متضرر، إما من خلال استبداله بسلك جديد باستخدام بعملية الجَدِل (Splicing)، أو من خلال إزالة الجزء المتضرر فقط، وإعادة وصل السلك نفسه من جديد إذا كان طول السلك كافياً. وتسمى هذه العملية «بالعملية التسلسلية» (Concatenation).

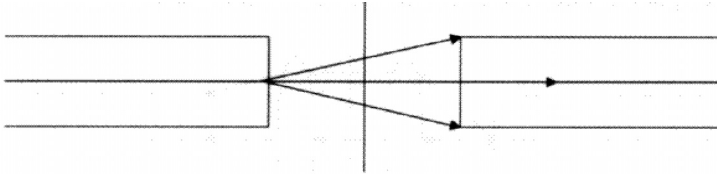
ويُستعمل مقرن قابل للفك (Demountable Coupler) في الحالات الضرورية مثل حالة وصل مرشح (Filter)، أو استعمال مقرنات بصرية (Optical Couplers) أو ناقل طاقة إلكترو ـ بصري (Optoelectronic Transducers) مُرسل و/ أو مستقبِل، مع الليف. وهناك نوعان من المقرنات الإلكتروبصرية القابلة للاستخدامات المتكررة هما: المقرن النهائي (End-Fire Coupler) والمقرن العدسي (Lens Couplers).

6-2-1 المقرن النهائي

يجري القرن النهائي عندما يكون كلا الوجهين البصريين (سواء من ليف ـ إلى ـ ليف، أم من ليف ـ إلى ـ صمام ثنائي ضوئي، أم من ليزر ـ إلى ـ ليف) متوازيين وقريبين جداً من بعضهما. ويجب الأخذ بعين الاعتبار فقدانات القرن (Coupling Losses) العديدة، وأهمها الفقد الناتج من إدخال الليف بالمقرن، أي فقد الإدخال (Insertion Losses).

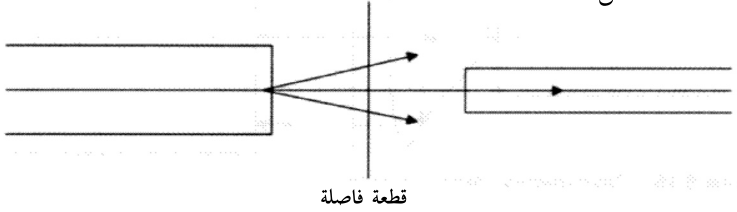
وهنالك ثلاثة حالات أساسية تواجه هذا النوع من القرن:

- عندما يكون وجهي دخول وخروج الضوء (Entrance and Exit Faces) متشابهين من حيث الحجم والفتحة العددية، والقرن النهائي المتناظر (Symmetrical End Fire Coupling)، والفقد المقلص (الشكل 6-12).



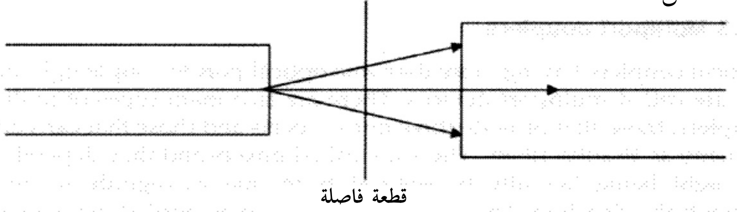
الشكل 6-12 أوجه دخول وخروج متشابهة مع بعضها

● عندما تكون مساحة طرف الخروج أكبر من مساحة طرف الدخول: أي إنه عند خروج الضوء من طرف الصمام الثنائي LED والداخل في الليف ذا الطرف الأصغر سينتج من ذلك الكثير من الفقد (الشكل 6-13).



الشكل 6-13 وجه خروج ذا مساحة أكبر

● عندما تكون مساحة طرف الخروج أصغر من طرف الدخول: أي عند خروج الضوء من الليف ذي الطرف الأصغر مساحة من المُقرن بصمام ثنائي ذي طرف أكبر مساحة يصبح فقد الإدخال ضئيلاً (الشكل 6-14).

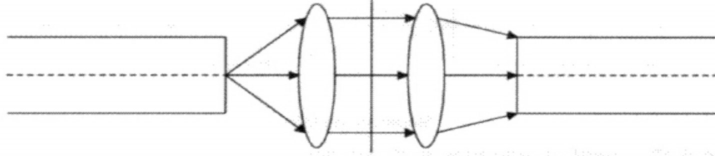


الشكل 6-14 وجه خروج أصغر مساحة

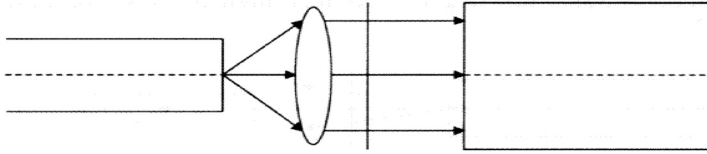
6-2-2 القَرْن العدسي

تُستخدم هذه الطريقة بالتحديد عدسات لقرن طرف الخروج مع طرف الدخول. وعلى الرغم من تعدد طرق القرن، إلا أن اكثر الطرق استخداماً هي طريقة القرن العدسي المتناظر (Symmetrical Lens Coupling) (الشكل 6-15 يظهر قرن الليف بالليف) والقرن العدسي غير المتناظر (Asymmetrical Lens Coupling) (الشكل 6-16 حيث

إن مساحة وجه خروج الليف أصغر من مساحة طرف الدخل كما هو الحال عند قرن الليف بالصمام الثنائي الضوئي).



الشكل 6-15 القرن العدسي المتناظر



الشكل 6-16 القرن العدسي غير المتناظر

على الرغم من أن القرن العدسي يؤمن قدرة احتمال ميكانيكية (Mechanical Tolerances) عند نقاط الوصل (Junctions)، إلا أن كمية الفقد في المقرن العدسي أكبر بكثير من كمية الفقد في المقرن النهائي، وذلك بسبب الفقد الإضافي الناتج من نظام الصور واختلاف معاملات الانكسار في طبقات الربط (Bonding Layers). ولذلك فإن المقرنات النهائية هي أكثر طرق القرن استعمالاً.

6-2-3 المقرنات متعددة الفتحات

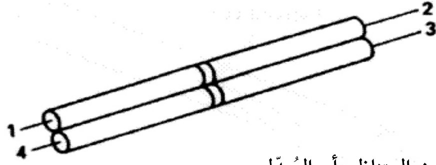
إن المقرنات البصرية التي تتضمن أكثر من فتحة واحدة لقرن الضوء إلى الداخل أو الخارج تُسمى بالمقرنات متعددة الفتحات (Multiports Couplers). وهناك نوعان من المقرنات متعددة الفتحات: المقرنات التي لديها ثلاث أو أربع فتحات. والمقرنات التي تستطيع وصل 16 مشتركاً بالشبكة. وتسمى هذه المقرنات بالخلاطات (Mixers)، وتعتمد على الضوء المُرسل بشكل جانبي (Laterally Transferred) من دليل موجة إلى آخر عبر التصفيح.

وتعتمد كمية الضوء المقرن على كمية التداخل (Overlapping) الحاصل عند نقاط الوصلات في الليف.

ملاحظة: يجب أن يجري قياس القدرة المخرجة من مقرن متعدد الفتحات بحذر، وذلك لضمان الانتقال عبر الفتحات المفردة (Termination of the Individual Ports) لكي لا يعكس الضوء، وأن الموجة الصاعدة لا تنتج منها موجة أخرى تعود وتدخل المقرن.

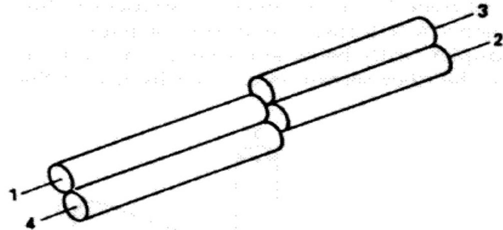
هناك أمثلة كثيرة عن المقرنات متعددة الفتحات الموجودة، وهي:

● المقرن المتناظر أو المُبدّل (Switch) (الشكل 6-17): في هذا المقرن يكون كلا القسمين مصنوعين من ليف من النوع نفسه.



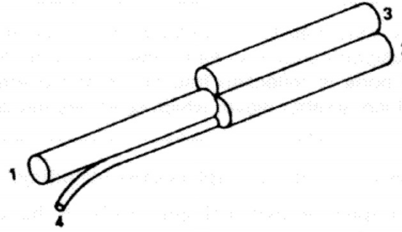
الشكل 6-17 المقرن المتناظر أو المُبدّل

● المقرن المتناظر الوازن (Symmetrical Offset Coupler) (الشكل 6-18): يسمح هذا المقرن بالتراصف (Alignment) الدقيق، كما إن كمية الفقد الناتج من النقل قليلة.

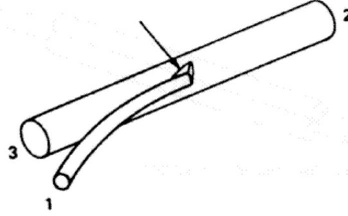


الشكل 6-18 المقرن المتناظر الوازن

• المقرن الوازن غير المتناظر (Asymmetrical Offset Coupler) (الشكل 6-19): إن تعبير «غير المتناظر» في سياق هذا النص تعني أن قسماً واحداً في الأقل من أقسام المقرن مصنوع من نوع مختلف من الليف. وبالإمكان صنع هذا النوع من المقرنات بحيث يكون لها فقد إدخال منخفض (Low Insertion Loss). إن هذا المقرن ملائم لأنظمة ألياف معامل الانكسار الخطوي (Step Index Fiber Systems)، حيث إن التصفيح في هذا الليف رقيق. ولا تتناسب هذه المقرنات مع الألياف متدرجة المعامل، وذلك لامكانية حصول عدم تطابق ناتج من مواقع حيود عن التوازن (Offset Positions).



الشكل 6-19 المقرن الوازن غير المتناظر

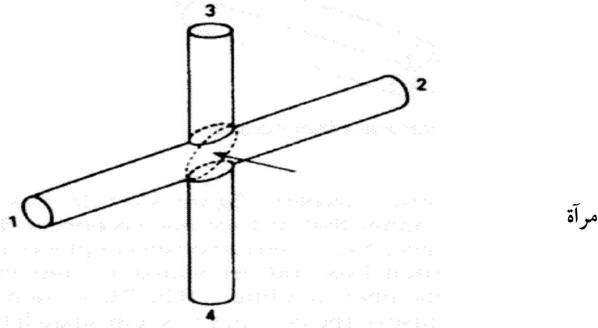


الشكل 6-20 مقرن غير متناظر بثلاث فتحات إدخال مع لب مثني

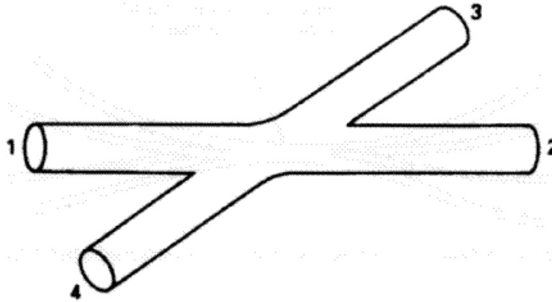
• المقرن غير المتناظر ذو الفتحات الثلاث واللب المثني (Asymmetrical Three-Port Coupler With Lapped Core) (الشكل 6-20): يسمح اللب المنثني لليف الثالث بصف دقيق لمحوري الليف الثاني والليف الثالث، وبالتالي تكون كمية الفقد منخفضة في مسلكي الليف الثاني والثالث، وكذلك في الليف الأول والثاني أيضاً.

● المقرن ذو الفتحات الأربع مع مرآة لتقسيم الشعاع (Four-Port Coupler With Beam-Splitting Mirror)، (الشكل 6-21):

ويضمن هذا المقرن رصفاً دقيقاً لليف باستعمال مرآة قاسمة للشعاع الضوئي (Beam Splitting Mirror). لا يعتمد هذا المقرن على طور معين (عدا تأثير الاستقطاب (Polarization)) ويمكن استعماله مع ليف ذي معامل انكسار خطوي أو ليف ذي معامل متدرج. ومن خلال اختيار مرآة مناسبة، وتصميم ليزري عازل، بالامكان تغيير طرق تقسيم الضوء. كما إن الطبقة المتعددة تعمل كمرشح انتقائي لطول الموجة (Wavelength Selective Filter).



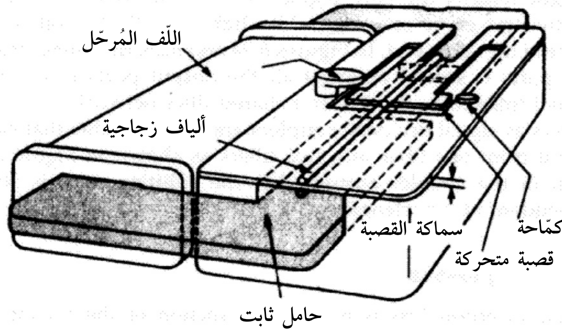
الشكل 6-21 مقرن بأربع فتحات مع مرآة تقسيم (Four-Port With Beam-Splitting Mirror)



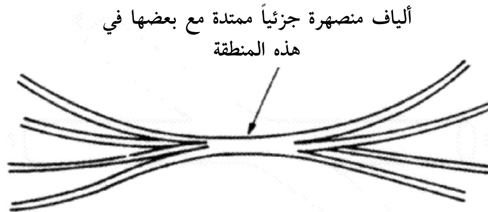
الشكل 6-22 مقرن بأربع فتحات (Four-Port Coupler or Bitaper)

• مقرن ذو أربع فتحات (Bitaper) (الشكل 6–22): تنفصل ألباب الألياف عن بعضها في الجزء المفصوم (Fused section)، ويتم تحويل الأنماط اللبية إلى أنماط تصفيحية مما يؤمن قرن القدرة البصرية (Optical Power Coupling) من ليف إلى آخر.

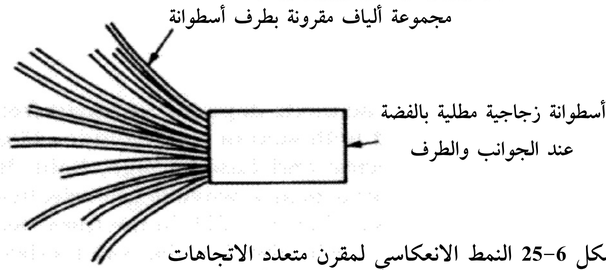
• المقرنات كمُبدّلات (Switches) (الشكل 6–23) وبسبب استقلال طولها الموجي عن اي عوامل مؤثرة، فإن بإمكانها أن تعمل عمل المُبدّلات (Swtiches). وتتراوح طبيعة بنية هذا المقرن بين الشكل البسيط (مثل المقرن المتناظر، الشكل 6–17) والمُبدّل ذي الفتحات الأربع الذي يعمل بالطاقة الكهرومغنطيسية، الظاهر في الشكل 6–21. إن مبدأ عمل هذا المقرن بسيط جداً، فعند تزويد القصبة بالطاقة، تُقرن الألياف الأربعة مع بعضها.



الشكل 6–23 محول بأربع فتحات إدخال، يعمل على طاقة كهرومغنطيسية



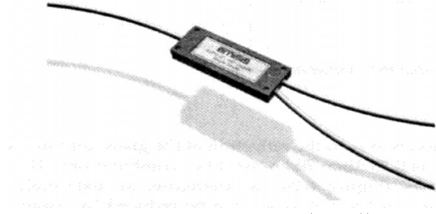
الشكل 6–24 مقرن بألياف منصهرة ذات نمط ناقل متعدد الاتجاهات



الشكل 6-25 النمط الانعكاسي لمقرن متعدد الاتجاهات

المقرنات النجمية العاكسة والمُرسلة (Transmissive and Reflective Star Couplers) (الشكل 6-24) و(الشكل 6-25): تصنع الخلاطات المُرسلة (Transmissive Mixers) من خلال صهر ولولبة عدد من الألياف مع بعضها بشك ثنائي المخروط (Biconical Tapering). وتجعل التغييرات الناتجة في الليف الضوء الساقط يصطدم على جانب تصفيح الليف بزاوية حادة، وبما أن هذه الزاوية تقع خارج زاوية القبول (Acceptance Angle)، فإن ذلك يؤدي إلى انتقال بعض الطاقة إلى التصفيح. ويعود الضوء إلى منطقة اللب في الألياف الأخرى عند النقطة التي تكون فيها مساحة المقطع العرضي أعرض. وتدخل الألياف الخلاط العاكس (Reflective Mixer) من طرف، بينما ينعكس الضوء عن سطح المرآة الموجودة في داخل الخلاط عند الطرف الآخر. وفي الشكلين 6-24 و6-25، تتوزع الطاقة من كل فتحات الدخل (Input Ports) على فتحات الخرج (Output Ports)، وذلك لتسمح باستعمال الوصلات متعددة الأطراف في شبكة ليفية مشتركة بين الأجهزة أو المستخدمين.

● المقرنات كمُقَسّمات للإشارة (Couplers as Signal Dividers): تتوافر هذه المقرنات كمُقسّمات للإشارة، إذ تقوم بتقيسم الإشارة الآتية من ليف واحد، وتوزعها على ليفين، كما هو ظاهر في الشكل 6-26. يضمن التصميم البنيوي لهذا النوع من المقرنات تقسيم متساوٍ (50/50) بين الليفين كما يضمن استقلالية دليل الموجة.

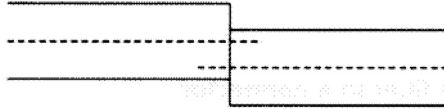


الشكل 6–26 مجزّئ إشارة الليف البصري

6–2–4 فَقْد القرن

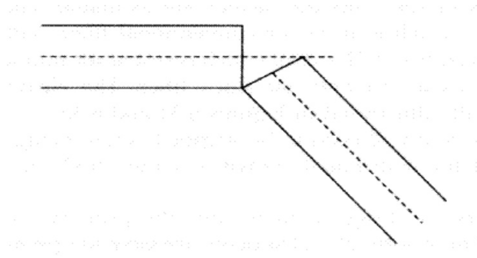
إن الفقد الناتج من ادخال الموصل ليس دليل على قدرة تحمّل الموصل فقط، بل وعلى قدرة تحمّل الليف كذلك (Tolerance). ويجب الأخذ بالاعتبار عدد من العوامل عند تصميم أنظمة الليف البصري:

● خطأ في الاصطفاف المحوري لليف (Axial Fiber Misalignment) (الشكل 6–27). وهذا العامل هو من أكثر العوامل أهمية، إذ إنه يتسبب بفقد هائل جداً في الإشارة. ومثلاً، فإن الخطأ المحوري (المستعرض (Transverse)) المقدر بحوالى 30 في المئة (أي ما يعادل 30 ميكرومتر في ليف قُطره 100 ميكرومتر) كافٍ لأن يتسبب بفقد يقدّر بحوالى 2 دسيبل.

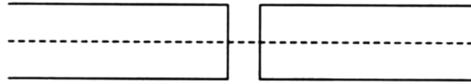


الشكل 6–27 خطأ في الاصطفاف المحوري

● خطأ في الاصطفاف الزاوي (Angular Misalignment) (الشكل 6–28)، وهذا العامل ليس مهماً جداً في الألياف الكبيرة إلا أنه كلما صغرت الفتحة العددية، كلما ازدادت المشاكل.



الشكل 6-28 خطأ في الاصطفاف الزاوي



الشكل 6-29 انفصال بين الألياف

● إن فقد فرنسل (Fresnel Loss) ناتج من الانعكاس الحاصل عند سطح الهواء ـ الزجاج البيني. وتصل قيمة هذا الفقد إلى حوالى 0.35 دسيبل عند التقاء سطح الليف ـ بسطح الهواء ـ وسطح الليف (Fiber - Air - Fiber Combination). ولذلك يجب أخذ فقد فرنسل الناتج من الفصل بين الألياف بعين الاعتبار. وبالإمكان تقليص هذا الفقد باستعمال طلاء عازل و/ أو سائل لمطابقة معاملات الانكسار بين (سطح الليف وسطح الهواء وسطح الليف من جديد).

يؤثر السطح المصقول، أو خشونة الطرف، لكل من سطح خرج أو دخل الضوء، في كمية فقد الإدخال الذي يظهر عند نقاط الوصل بين الألياف، ما يتسبب باستطارة وإيجاد مراكز امتصاص الضوء. مثلاً، إن طرف ليف ذا شق حجمه 10 مكيرومترات يتسبب بفقد مقداره 0.5 دسيبل.

إن الاختلاف بين قُطر لب طرف الخرج في الليف الأول وقُطر لب طرف الدخل في الليف الثاني يضيف فقد إدخال (Insertion

(Loss) إضافي عند نقاط الوصل بين الألياف. مثلاً، إن اختلاف 5 في المئة في قُطر اللب من ليف إلى آخر (التي تتضمن انتقال الضوء من ليف ذي قُطر كبير إلى آخر ذي قُطر أصغر) ينتج منه فقد يقدّر بـ 0.5 دسيبل أخرى.

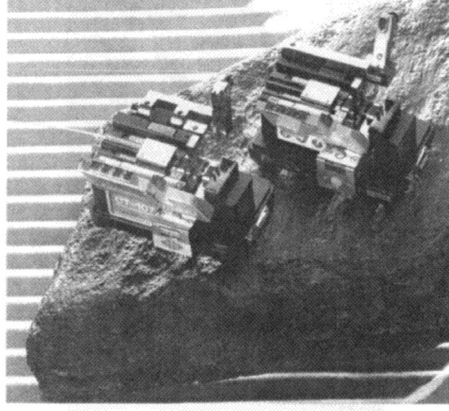
6-2-5 ربط الليف بالموصل

يُربط الليف بالموصل من خلال شق (Cleaving)، أو يربط (Cleating) الليف بالأنبوب (Ferrule) بحيث يصبح السطح المشقوق سطح خرج الضوء من الليف، أو باستعمال غراء ذي توهين منخفض لربط الليف بالأنبوب.

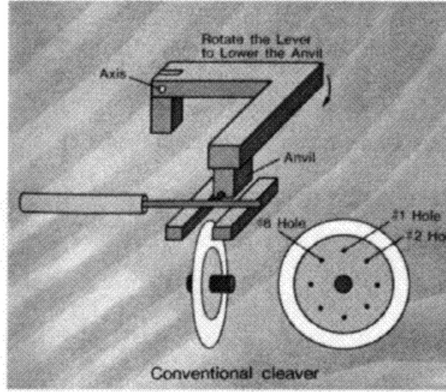
يمكن شق الليف باستعمال كثير من الأدوات الموجودة اليوم مثل (أداة شق الليف العالية الدقة من نوع فوجيكورا Fujikura's (High Precision Fiber Cleavers) الظاهرة في الشكل 6-30.

هناك نوعان من هذه الأدوات، **الأولى** وهي الأداة التقليدية (CT-04B) وتستخدم للألياف ذات التصفيح التقليدي، وهي الأداة الأكثر تطوراً (CT-100B) للاستعمال مع السليكا المنشط بالتيتانيوم (Titanium (Ti)-Doped Silica) بالإضافة إلى الاستعمال مع ألياف السليكا التقليدية. إن طريقة الشق مفصلة في الشكلين 6-31 و6-32.

أولاً، يجب إزالة الغلاف الأولي قبل إدخال الليف بالموصّل. وتستعمل الأداة الظاهرة في الشكل 6-33 لهذا الغرض. إن هذه الأداة مصنوعة لإزالة الغلاف الأولي عن الليف البصري. وهذا النوع من الأدوات سهل الاستعمال، كما إنها تزيل الغلاف بجودة عالية من دون أن تلحق ضرراً في الليف.

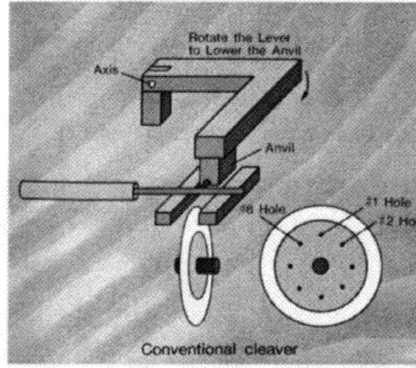


الشكل 6-30 أداة شق الليف (تقدمة فوجيكورا)

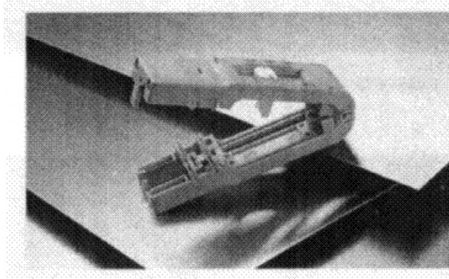


الشكل 6-31 أداة شق التقليدية (تقدمة فوجيكورا)

إن عدّة (3M's Hot Melt kit) (الشكل 6-34) مثال لأحد أنواع العدد المُستخدمة والمتوافرة في الميدان. وتستخدم الأنابيب التي تحتوي على غراء يفعّل عند التسخين (أي يذوب بواسطة التسخين) (الشكل 6-35 أ) ومن ثم يُدخل الليف (بعد نزع الغلاف الأولي) داخل الأنبوب (الشكل 6-35 ب). وتستغرق عملية التبريد دقائق عدة، ومن ثم يُصبح جاهزاً للاستعمال كموصّل دائم عالي الجودة.



الشكل 6–32 أداة شق مطورة (تقدمة فوجيكورا)



الشكل 6–33 أداة إزالة الغلاف الأساسي لليف (تقدمة فوجيكورا)



الشكل 6–34 عدة ربط الليف بالغراء. عبر تذويب الغراء من خلال التسخين (تقدمة AURIGA (europe) PLC)

الشكل 6-35 تسخين الأنبوب في سخان أو ملهاب صغير ومن ثم إدخال الليف (تقدمة AURIGA (Europe) PLC)

6-2-6 وصل سلك الليف البصري بصمام ثنائي باعث للضوء

تعد القدرة على شق الليف بدقة متناهية كل مرة شرطاً أساسياً في تطبيقات الربط والقياس في هذا الزمن. ولحسن الحظ فإن أدوات الربط والموصلات القادرة على القيام بذلك متوافرة في الأسواق.

الشكل 6-36 قرن ليف بصري في صمام ثنائي باعث للضوء

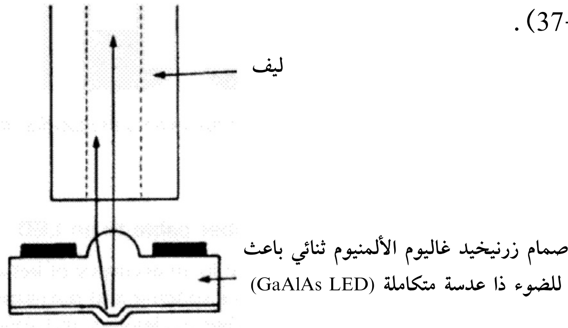
على الرغم من أن إمكانية قرن طرف ليف مع ليف آخر (الشكل 6-36)، إلا أن هذه الطريقة تعد غير فاعلة، وذلك لضيق زاوية القبول في الليف. ولهذا فإن المقرنات التي تستخدم العدسات لتركيز الشعاع هي الأكثر عملية. ومن وجهة نظر ديناميكية حرارية (Thermodynamic)، من المستحيل زيادة إشعاع الصمام الثنائي الباعث للضوء باستعمال المقرن العدسي. إلا أن القرن العدسي يُكبر (Magnify) المنطقة الناشطة قليلاً، ما يزيد من فاعلية المقرن.

6-2-7 وصل الكابل الليفي مع دارة متكاملة

يجري وصل الليف البصري بدارة متكاملة باستعمال طريقتين، إما بواسطة القرن النهائي (End-Fire Coupling) أو القرن الموجي المتلاشي (Evanescent Wave Coupling).

6-2-7-1 القرن النهائي

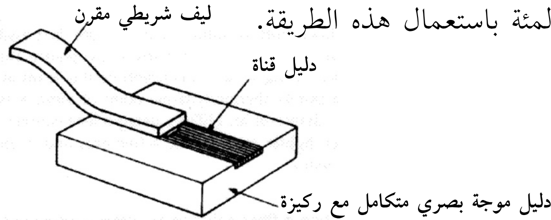
وهو قرن لدليل الموجة المتكامل مع ليف بصري حيث يجري ربط الليف مع دليل الموجة باستعمال الغِراء أو الإيبوكسي (الشكل 6-37).



الشكل 6-37 القرن العدسي لليف بصري في صمام ثنائي باعث للضوء

6-2-7-2 القرن الموجي المتلاشي

كما هو ظاهر في الشكل 6-38، يجري إدخال ليف شريطي في الدليل الموجي البصري المتكامل. تصل فاعلية الإقران إلى أكثر من 90 في المئة باستعمال هذه الطريقة.



الشكل 6-38 طريقة قرن الليف الشريطي مع دليل موجة متكامل

6-3 طرق وصل الألياف

كان وصل الألياف ببعضها في أوائل الثمانينيات من القرن الماضي يجري من خلال ربط موصّل بليف بصري ويثبت في مكانه باستخدام غراء (Epoxy)، ومن ثم يتم إدخال الليف المطلي في الموصل، ثم تجري معالجة الغِراء وشقّ الليف. وأخيراً يصقل السطح المشقوق ليصبح مسطحاً (نسبة إلى طرف الموصّل). ويتطلب ذلك بين 15 و20 دقيقة للموصل الواحد.

وما زالت تستخدم بعض الطرق المماثلة، إلا أن نوعية الغِراء قد تغيرت، كما إن طريقة استعمال الغراء أصبحت أبسط وأسهل، كما إن عدة الصقل أصبحت أفضل. وتتوافر الموصّلات بأشكالها وتصاميمها المختلفة، وبالإضافة إلى ذلك فقد طُوّرت طرق إنهاء جديدة حيث إن تركيب الموصل على الليف أصبح يجري في أقل من دقيقتين.

على الرغم من استعمال الموصّلات البصرية لربط أسلاك الليف البصري ببعضها، إلا أن هناك طرق وصل أخرى ذات فقد أقل. وأكثرهذه الطرق استخداماً هي الوصلة الميكانيكية (Mechanical Splice) والوصلة المنصهرة (Fusion Splice).

إن الوصلات ونقاط الربط بين الألياف هي روابط دائمة بعكس الموصّلات. ويجري وصل الألياف بالجَدِل أو العقص (Splice) ببعضها في الأنظمة البصرية ذات السعة العالية والمسافات الطويلة في الاستعمال الخارجي. وأما الموصّلات فتستخدم للتطبيقات الداخلية وللمسافات القصيرة. وهذا مهم جداً، حيث إن فقد الموصّلات يُساوي 0.7 دسيبل، أما إذا وصلنا ليفيين مع بعضهما البعض، فإن الفقد يتراوح بين 0.1 و0.5 دسيبل، ويعتمد ذلك على نوع الوصل ونوع الليفين المُستَخدَمين.

يُربط طرف الليف الأول بطرف الليف الثاني خلال عملية العقص، إما بواسطة الانصهار (Fusion)، ومن ثم يجري لصقهما، أو وصلهما مع بعضهما ميكانيكياً في بُنية محكمة. وتستغرق هذه العملية بين خمس وعشر دقائق. ولكن، بشكل عام، فإن كل من الربط الميكانيكي (Mechanical Splice) والربط باستعمال الغراء (Epoxy Splice) لا يضاهيان قوة الجدل بالانصهار (Fusion Splices).

إن ربط أطراف الألياف ببعضها من دون وجود مساحة هوائية في ما بينها يقللُ من فقد فرنسل وفقد الإرسال اللذين يوجدان عادة عند السطح البيني لليف/ الهواء (Fiber/Air Interface). كما ويظهر الفقد السطحي وفقد الانتشار إذا ما كانت مواد الربط مثل الغراء، تفصل بين أطراف الألياف الموصولة. وتكون هذه الفقدانات ضئيلة جداً، في حال كان معامل الانكسار للمادة اللاصقة مشابه لمعامل الانكسار في الزجاج، بالإضافة إلى أن تكون الطبقة اللاصقة رقيقة جداً.

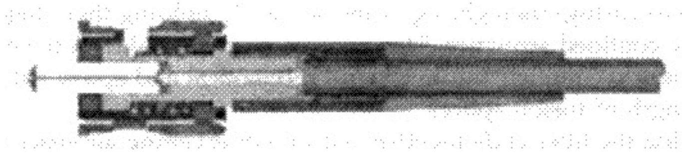
ملاحظة: يجعل الجَدِل غير الدقيق نقطة الوصل عرضة للأوساخ والغبار، وبالتالي سينتج من ذلك فقد. فمثلاً إن جزيئية غبار حجمها 10 ميكرومتر تمنع انتقال الضوء في ليف مفرد النمط بشكل كلي.

6-3-1 وصلات الغراء

إن الخطوات الأساسية لاستعمال الغراء أو الإيبوكسي كطريقة وصل (الشكل 6-39) هي كما يأتي:

- تجريد الليف من الأغلفة الوقائية المحيطة به
- خلط مكوّنين من الغراء [الراتنج (Resin) والمادة المقوية (Hardner) - وتتوافر عبوة جاهزة للاستعمال المباشر].
- ملء الحقنة بخليط غراء (إلا إذا كانت معبئةً مسبقاً).
- حقن الغراء في الطرف الخلفي لأنبوب الموصّل.

- إدخال السلك أو الكبل المحضّر في الأنبوب.
- في حال تم تركيب الموصل على الغلاف الخارجي لليف، يجب تغضين الموصّل على العنصر المقوي وغلاف السلك.
- تركيب السلك الموصّل في علبة المعالجة.
- معالجة الغراء (من خلال وضع السلك المُوصّل وعلبة المعالجة داخل فرن).
- شق الليف وإدخاله في الأنبوب (وإزالة الليف الزائد).
- التخلص من كل الليف الزائد.
- صقل طرف الليف لإزالة الغراء الزائد عنه.
- تنظيف طرف الأنبوب (باستعمال فوطة مغموسة بالكحول خالية من الأوكتان).
- تفحص الأنبوب للتأكد من خلوّه من العيوب.



الشكل 6-39 موصّل من نوع ST باستخدام غراء أو لاصق (تقدمة فوتك Fotec)

6-3-2 الغراء المعالج بالحرارة

تجري معالجة الغراء عند تعريضه لدرجة حرارة مرتفعة. ويعتمد اختيار الغراء على الجودة وقدرته على تحمّل الحرارة والرطوبة.

تكمن الميزة الأساسية لمعالجة الغراء بالحرارة في إمكانية الحصول على قدرة مقاومة للبيئات الصعبة. وأما مساوئها فتكمن في الوقت الذي تستغرقه العملية (15 دقيقة)، بالإضافة إلى أن معالجة الغراء تحتاج إلى نصف ساعة، علاوة على أنها تتطلب فرناً لمعالجة الغراء.

6-3-3 الغراء المعالج بدرجة حرارة الغرفة

وهي طريقة شبيهة بطريقة معالجة الغراء بالحرارة العالية، إلا أنه في هذه الحالة يعالج الغراء بدرجة حرارة الغرفة، ما يجعله نافعاً جداً للخدمات الداخلية، حيث إنه بالإمكان القيام بها من دون الحاجة إلى أي قدرة مُضافة. وأما المساوئ المرافقة لهذه الطريقة فتكمن في أن عمرها العملي قصير جداً، كما إن الوقت الذي تستغرقه عملية المعالجة طويل يتراوح بين ساعتين وثلاث ساعات.

6-3-4 الغراء المحقون مسبقاً

تتضمن هذه الطريقة معالجة الغراء بالحرارة، إلا أن الموصّل يكون محقوناً بالغراء من قبل المُصنّع وليس المُركّب. وميزة هذه الطريقة أنه لا حاجة إلى المستخدم لأن يحقن الموصّل بالغراء، إلا أنها تتطلب فرناً لمعالجة الغراء، ما يعني أن جسم الموصّل سيصبح حاراً جداً بحيث يصعب لمسه. بالإضافة إلى أن عملية الصقل تستغرق وقتاً أطول.

6-3-5 اللاصق المعالج بالأشعة فوق البنفسجية

تجري معالجة هذا النوع من المواد اللاصقة باستخدام الأشعة فوق البنفسجية. وتُعدّ هذه طريقة سريعة لربط الليف بأنبوب الموصّل (Connector Ferrule)، كما إن عملية الصقل بسيطة جداً. وتكمن مساوئ هذه الطريقة في عدم استعمال السيراميك الصلب، أو الفولاذ المضاد للصدأ، أو أنبوب البوليمر، وعند استعمال الأشعة فوق البنفسجية في الوصول إلى الغراء. وبالإضافة إلى قدرتها على مقاومة البيئات الصعبة (الحرارة والبرد والرطوبة) فإن هذه الطريقة أضعف بكثير من قدرة الغراء المعالج بالحرارة.

وأما الميزة الأساسية فهي سرعة المعالجة (تحتاج إلى 45 ثانية ودون الحاجة إلى فرن لمعالجة اللاصق).

6-3-6 لاصق أكريلات السيانيد

إن الخطوات اللازمة لاستعمال لاصق أكريلات السيانيد هي: حقن اللاصق، وإدخال الليف، ومن ثم رشّ طرف أنبوب الموصّل بـ (مُسرّع (Accelerator)) لتسريع عملية معالجة الغراء.

وتكمن الميزة الأساسية لهذه الطريقة في الوقت الذي تستغرقه (ما بين 30 ثانية والدقيقة)، بالإضافة إلى أنها لا تحتاج إلى فرن لمعالجة اللاصق. إلا أن مساوئ هذه الطرقة ناتجة من سرعة المعالجة (مثلاً قد يتصلب اللاصق قبل التمكن من إدخال الليف بالكامل في الأنبوب). وأما قدرة هذا اللاصق على تحمّل البيئات الصعبة، فهي شبيهة بقدرة اللاصق المعالج بالأشعة فوق البنفسجية.

6-3-7 اللاصق اللاهوائي

إن عمل اللاصق اللاهوائي شبيه بعمل لاصق أكريلات السيانيد، إلا أنه يتم بغمس الليف بسائل (أساس) (Primer) بدلاً من استعمال المسرّع. وتجري المعالجة بعدم وجود الهواء داخل الأنبوب (ومن هنا جاء مصطلح لاهوائي (Anaerobic)، أي بغياب الهواء).

إن الميزة الأساسية لهذه الطريقة هي سرعتها (من 30 إلى 60 ثانية) ولا حاجة إلى فرن لمعالجة اللاصق أيضاً. وأما إحدى المساوئ فتكمن في أن أساس الطلاء عبارة عن محلول سريع التبخر.

6-3-8 لاصق الأكريليك

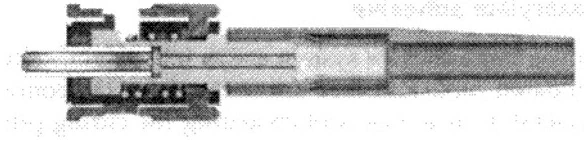
إن هذا النوع من اللواصق جديد نسبياً في الأسواق، وتكمن ميزته الأساسية في سرعة معالجة اللاصق، التي تساوي سرعة المعالجة باللاصق اللاهوائي، إلا أن هذا النوع من الغراء لا يتصلّب

تلقائياً (بما إن لدى المستخدم 30 ثانية من الوقت، في الأقل، لإدخال الليف بالكامل داخل الموصّل فلا يتمّ قُفْل الليف تماماً). كما إن معالجته لا تحتاج إلى فرن أو أشعة فوق بنفسجية. وبالإضافة إلى ذلك، فإن هذا اللاصق قادرٌ على تحمل البيئات الصعبة. والميزة الأخرى هي أن المادة المُفعّلة لتصلّب الغراء ليست محلولاً، وبالتالي فلن تتبخر عند تعرضها للهواء، كما إن عمرها الناجز يمتد إلى حوالى 12 شهراً.

وتعد هذه الطريقة (مقارنة بالطرق الأخرى) الأفضل، حيث إنها سهلة وسريعة التركيب نسبياً وقدرتها عالية على مقاومة البيئات المختلفة.

6-3-9 التغضين

يُلغي هذا النوع من الموصّلات الحاجة إلى استعمال الغراء/ اللاصق، فمن خلال التغضين أو العقص (Crimping) يجري تثبيت الليف والأسلاك الأخرى بالموصل (الشكل 6-40).



الشكل 6-40 الإنهاء عن طريق التغضين (تقدمة فوتك (Fotec))

تقتضي ميزة التغضين عدم الحاجة إلى استعمال الغراء/ اللاصق، وبالتالي تكون عملية الربط سهلة وسريعة. وأما إحدى مساوئ طريقة التغضين فإنها مكلفة من الناحية الاقتصادية على المدى الطويل، كما إن قدرتها العملية مشكوك فيها.

وتكمن المساوئ الأخرى في أن آلية التغضين (العقص) غير قادرة على إبقاء اصطفاف الألياف مفردة النمط بشكل كافٍ لتأمين أداء بصري ملائم، ولذلك فإن هذا النوع مناسب لوصل الأسلاك متعددة الأنماط فقط.

6–3–10 الربط من دون الحاجة إلى التغضين أو الغراء

تحتوي هذه الموصّلات المميزة على ليف قصير مصقول ومُلصق مسبقاً بأنبوب الموصّل خلال عملية الصنع. ويُترك جزء صغير من الليف بارز من الطرف الخلفي للأنبوب.

6–3–11 محاسن ومساوئ عدد من أنواع طرق الإنهاء

المحاسن:

- على اختصاصي التركيب أن يحضّر كبل الليف، ومن ثم إدخاله في الموصّل وعقص (Crimping) الطرف الخلفي.
- لا حاجة إلى الغراء أو اللاصق.
- لا حاجة إلى الصقل.
- وبذلك تجري العملية باستعمال مواد أقل.

المساوئ:

- الحاجة إلى معدات خاصة (مثل أدة الشق).
- بما أن هناك نقطتي وصل في الليف (واحدة عند طرف الأنبوب والأخرى عند نقطة الوصل الميكانيكي)، فإن عدد نقاط الوصل يصبح ثلاث نقاط (على عكس طرق الإنهاء الأخرى التي تحتاج إلى نقطة وصل واحدة).

● إن جودة نقطة الجَدِل، أقل من جودة الموصل عند استعمال الغراء أو اللاصق، وذلك بسبب نوعية نقطة الوصل، ما يزيد من الكلفة على المدى الطويل.

6-4 الجَدِل أو العقص

تتوفر حالياً روابط بسيطة لربط الجدلات أو الوصلات أحادية الليف أو متعددة الالياف وتستخدم أيضاً موصلات ألياف متعددة دائمية لربط كبلات الألياف البصرية مع الأجهزة الالكترونية البصرية ولوحات التوزيع (Distribution Frames).

6-4-1 فقد الوصل

ينتج فقد الوصل من تغييرات القُطر الخارجي للب الليف، واختلاف معامل الانكسار، والشكل الإهليليجي (Ellipticity) للب، أو خطأ في اصطفاف أطراف الألياف مع بعضها، أو عدم تناسب معامل انكسار الليف الأول مع معامل انكسار الليف الثاني، بالإضافة إلى الشوائب الموجودة في دليل الموجة... إلخ. ويقدر الفَقْد الناتج من الوصل بالجَدِل بحوالى 0.5 دسيبل، ويُعدّ هذا أمراً طبيعياً في الألياف متعددة الأنماط التي جرى وصلها بواسطة الانصهار. وأما الألياف مفردة النمط (وبسبب ضيق قُطر لبها)، فيتراوح الفقد ما بين 0.1 و0.2 دسيبل. ويعد الفقد الناتج من الوصل الميكانيكي (Mechanical Splicing) أقل من الفقد الناتج من الموصل على الرغم من أنه أكثر من الفقد الناتج من الوصل الانصهاري (Fusion Splicing).

يلخص الجدول 6-2 محاسن طرق الوصل في الموصّل الليفي ومساوئها:

الجدول 6-2 ملخص عام لحيثيات طرائق إنهاء موصلات الألياف البصرية

طرق الإنهاء	الوقت اللازم للوصل بالليف الصاد في الميدان (دقيقة/ دقائق لكل موصّل)	الوقت المسموح به لإدخال الليف	المصدر المُعالج للغراء أو اللاصق
الغراء المعالج بالحرارة	10 + 30 (الوقت اللازم للمعالجة)	ساعتين	فرن
الغراء المعالج بحرارة الغرفة	10 + 120 (الوقت اللزم للمعالجة)	15 دقيقة	هواء
الغراء المحقون مسبقاً	8 + 30 (الوقت اللازم للتبريد)	دقيقة	فرن
اللاصق المعالج بأشعة فوق البنفسجية	5	30 ثانية	الأشعة ما فوق البنفسجية
لاصق أكريلات السيانيد	3	أقل من 5 ثوان	الهواء
اللاصق اللاهوائي (غياب الهواء)	3	5 ثوان	مادة مفعّل
لاصق أكريليك	2.5	30 ثانية	مادة مفعّل
التغضين	2	غير محدود	لا ينطبق عليها
الربط من دون الحاجة للغراء أو الصقل	1.5	غير محدود	لا ينطبق عليها
الغراء المعالج بحرارة الغرفة	منخفض	لا يوجد	جيد
الغراء المحقون مسبقاً	متوسط	فرن تسخين ومنصة تبريد	جيد
اللاصق المعالج بأشعة فوق البنفسجية	متوسط	الأشعة فوق البنفسجية	وسط
لاصق أكريلات السيانيد	منخفض	لا يوجد	وسط
اللاصق اللاهوائي (غياب الهواء)	منخفض	لا يوجد	وسط
لاصق أكريليك	منخفض	لا يوجد	جيد
التغضين	عالي	أداة تركيب خاصة	وسط
الربط من دون الحاجة للغراء أو الصقل	عالي	أداتي شق وتغضين خاصتين	

على الرغم من أن وصل ألياف غير متشابهة مع بعضها ممكن من الناحية الفيزيائية (مثل ليف مفرد النمط مع ليف متعدد الأنماط)، إلا أنه يؤدي إلى فقد كبير، إذا لم يستطع لب الليف الثاني استيعاب الضوء المخرج من الليف الأول بشكل كامل. مثلاً، إن وصل ليف مفرد النمط يُساوي قُطر لبه 10 ميكرومتر مع ليف متعدد الأنماط يُساوي قُطره 125/ 62.5 ميكرومتر يُنتج فَقْداً قليلاً، وذلك أن الضوء مخرجٌ من الليف مفرد النمط باتجاه الليف متعدد الأنماط، حيث إن الليف متعدد الأنماط استطاع استيعاب الضوء. وأما إذا كان الضوء مخرجاً من الليف متعدد الأنماط وداخلاً في الليف مفرد النمط، فإن الفقد قد يصل إلى 20 دسيبل.

على الرغم من أن الفقد الناتج من الربط بالجَدِل قد يُساوي الفقد الناتج من ليف مفرد النمط طوله كيلومتر واحد إلا أنه من المهم أن تكون عملية الوصل والربط دقيقةً جداً!

الجدول 6-3 يظهر أخطاء الاصطفاف Alignment

	خطأ في الاصطفاف الجانبي
	خطأ في الاصطفاف الزاوي
	خطأ في الاصطفاف المحوري
	خطأ في تطابق أطراف الألياف

6-4-2 أخطاء الاصطفاف في عملية الربط

هناك أربعة أخطاء قد تحصل عند نقاط وصل الألياف البصرية وهي (انظر الجدول 6-3):

- خطأ في الاصطفاف الجانبي.
- خطأ في الاصطفاف المحوري.
- خطأ في الاصطفاف الزاوي.
- عدم تطابق أطراف الألياف.

6-4-3 الوصل الميكانيكي

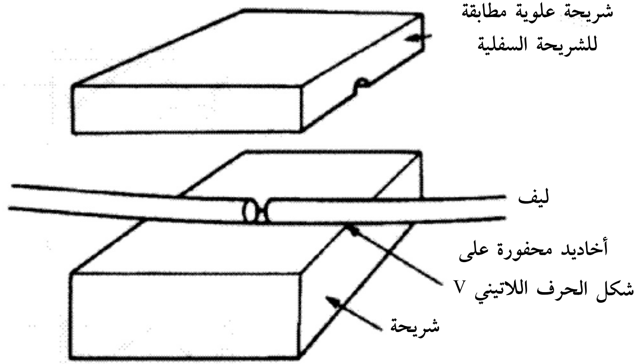
يجري تنظيف وتحضير السلكين الليفيين في هذا النوع من الوصل، ومن ثم يجري وصلهما وصفّهما مع بعضهما عن طريق تجويف V التجميع الميكانيكي (Mechanical Assembly) كما هو الحال في وصلة (V-groove). ومن ثم يثبّت الليفين في بنية الموصل أو يلصقا مع بعضهما باستعمال لاصق ذي مُعامل مشابه لمعاملي انكسار الليفين المستخدمين.

يكون الفقد في الوصل الميكانيكي عادة أعلى من الفقد في الوصل الانصهاري، غير أن الميزة الرئيسة هنا هي بساطة العملية وسهولة استعمال الأدوات اللازمة لإجرائها، كما إنها مناسبة لإجراء الفحص الميداني والاستعمال المؤقت.

6-4-3-1 وصلة التجويف V

تُوضع الألياف على شريحة ذات أخاديد أو تجاويف (Grooves) محفورة تشبه في شكلها الحرف اللاتيني (V). وتقوم هذه الشريحة بصفّ الألياف تلقائياً. وتتضمن بعض الأدوات المستخدمة في هذا النوع من الوصل زنبركاً (نابض) مصنوعاً من نحاس البريليوم يُبقي الشريحتين العليا والسفلى متماسكتين مع بعضهما، كما وتوجد بكرة

للتحكّم بالمحاور المتعددة. ويُفصِّل الشكل 6-41 المبدأ الذي تقوم عليه هذه الطريقة.



الشكل 6-41 استخدام أخاديد محفورة على شرائح معدنية لوصل الألياف البصرية

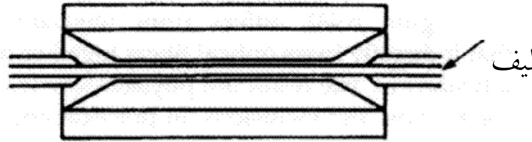
ولتثبيت الألياف بشكل دائم يوضع لاصق مُعالِج ذو معامل انكسار شبيه بمعامل انكسار الألياف عند الأطراف التي يراد وصلها، ومن ثم يُعقصُ موصّل رابط (Splice Connector) على أنبوبي صد اثنين. ولضمان عدم تزايد التوهين عند الوصل بسبب تغييرات حرارة المناخ، من الضروري أن يكون اللاصق مقاوماً للعوامل الخارجية مع مرور الزمن وأن يكون له معامل مطابق لمعامل الليف.

وبالإضافة إلى ذلك فإنه بالإمكان الحصول على فقد يقدّر بأقل من 0.1 دسيبل إذا ما تمت عملية الوصل بشكل كامل وبحذر شديد لتحقيق ربط دقيق واستعمال اللاصق المناسب... إلخ.

6-4-3-2 الواصل المرن

يُعتبر هذا نوعاً آخر من أنواع الوصل الميكانيكي، ومبدأه مفصل في الشكل 6-42. والواصل المرن (Elastomeric Splicer) شبيه بموصل التجويف (V) (V-groove)، إلا أن الشريحة تكون

مصنوعة من مواد بلاستيكية مرنة. ويستعمل لاصق ذو معامل مطابق لمعامل الألياف لدمج طرفي الليفين مع بعضهما، أو يجري تغضين الموصّل بسلك الليف البصري.



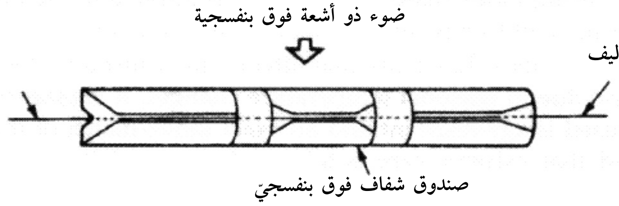
الشكل 6-42 مبدأ الربط المرن الذي يصفّ الألياف داخل ثقب في الشريحة المرنة

تكمن مساوئ الربط الميكانيكي في الفَقْد المحتمل الناتج من نقطة الوصل غير الكاملة. ولذلك فإن هذا النوع من الوصلات مناسبٌ للاستعمال لفترات زمنية ومسافات قصيرة، أو كنقاط وصل مؤقتة، وبما أن هذا النوع من الوصلات غير قابل للاشتعال في وجود شرارات حولها، فهي فاعلة جداً للاستعمال في الأماكن الخطيرة.

6-4-3-3 عُدّة الربط الميكانيكي الميدانية

بالإمكان تحقيق وصل ميكانيكي ذي فقد منخفض عند استعمال إحدى طرق الوصل بالأشعة فوق البنفسجية المتوفرة في الأسواق في الوقت الحاضر، والمفصلة في الشكل 6-43.

والعملية بسيطة جداً، فبعد تحضير الليف (يتضمن ذلك الشق الدقيق، والتخلّص من الجزء الصغير من تصفيح السلك أو الأنبوب الصاد (Buffer Tube) والتنظيف الكامل لليف الظاهر)، يُوضع اللاصق المعالج بالأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet-Cured Adhesive) على طرف واحد لليف قبل إدخاله في طرف المُوصِّل.

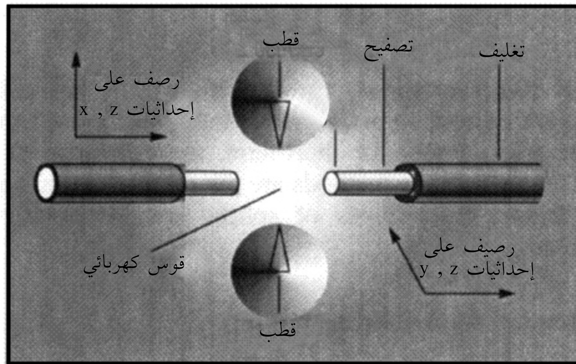


الشكل 6-43 مبدأ الربط المرن بالأشعة فوق البنفسجية

كما يمر طرف الليف الآخر بالخطوات نفسها، ومن ثم يُدخل من الطرف الآخر للرابط حتى يصطدم طرف الليف بطرف الليف الآخر، ومن ثم يسلّط عليهما ضوء فوق بنفسجي. ويمكن أن تصل كمية الخسارة إلى أقل من 0.2 دسيبل عند استعمال هذه الطريقة.

6-4-4 الربط الانصهاري

تختلف هذه الطريقة (الشكل 6-44) عن الوصل الميكانيكي والموصّلات، حيث يتم دمج الليفين مباشرةً مع بعضهما وبتقانة متناهية الدقة باستعمال قوس الصهر (Fusion Arc). وينتج من ذلك التحام بين الألياف ذات فقْد منخفض خالٍ من الفراغات الهوائية. وتُستعمل هذه الطريقة في التطبيقات الميدانية.



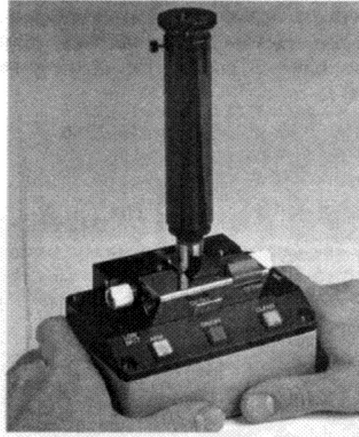
الشكل 6-44 مبدأ الوصل الحراري (تقدمة كورنينغ لأنظمة الأسلاك)

تتم عملية الربط في ست خطوات:

- تعرية أطراف الليف باستعمال أداة تعرية (Stripping Tool).
- تحضير أوجه الأطراف باستعمال أداة شق الليف البصري (Fiber Optic Cleaver).
- إدخال أطراف الألياف في الرابط الانصهاري (Fusion Splicer) ومن ثم رصّف الألياف بواسطة الدمج.
- دمج الألياف باستعمال قوس كهربائي يجري إشعاله بين إلكترودين اثنين (Electrical Arc Ignited Between Two Electrodes).
- فحص نقطة الدمج.
- تغليف نقطة الوصل لحمايتها.

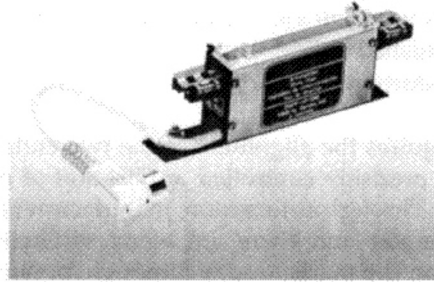
يتطلب الوصل الانصهاري رصّف الليفين بدقة متناهية وطاقة دمج مُتَحكّم بها لوصل الليفين ببعضهما. وبفضل أتمتة المصانع، أصبح بمقدور المصنّعين جعل المهمة أسهل. وتتوافر كذلك أنواع مختلفة من أدوات الوصل الانصهاري في السوق بالوقت الراهن، وبسبب الدقة التي تتطلبها العملية، فإنها ما زالت مكلفة. وقد تصل كلفتها في بعض الأحيان إلى آلاف الجنيهات الأسترلينية.

ويظهر الشكل 6-45 مثالاً على أداة وصل انصهاري مصغّرة ومحمولة يمكن استعمالها لوصل الألياف مفردة النمط والألياف متعددة الأنماط الذي بمعدل فقد يُقدّر بحوالى 0.04 دسيبل في الليف متعدد الأنماط يبلغ قياسه 50/125 (يشير الرقم 50 إلى قُطر اللب، أما الرقم 125 فيشير إلى قياس قُطر التصفيح)، وبمعدل فقدٍ يقدّر بحوالى 0.05 دسيبل في الليف مفرد النمط.



الشكل 6-45 عدّة ربط ميدانية نموذجية لربط أطراف الألياف البصرية ببعضها (تقدمة Brand-Rex)

ويستعمل هيكل واقٍ مقلّص بواسطة الحرارة (Heat-Shrink Splice Protector) لحماية الوصلة من العوامل البيئية والأضرار الميكانيكية (لاحظ الشكل 6-46).



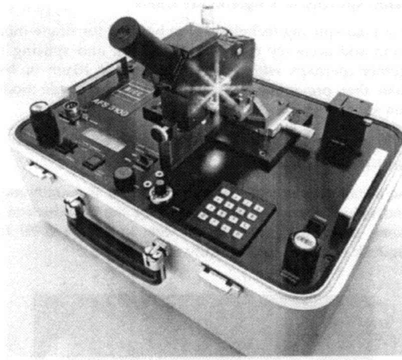
الشكل 6-46 فرن تقليص بالحرارة (تقدمة شركة كورنينغ لأنظمة الأسلاك GmbH)

من ناحية نظرية فإن كل الموصلات الانصهارية تتضمن القوس الكهربائي والميكروسكوب (تصل قدرة الميكروسكوب على تكبير الصورة إلى 50 مرة أو أكثر ليتمكن اختصاصي التركيب من رؤية الليف خلال عملية الرصف). كما وتتضمن كذلك طريقة لمقارنة

القدرة البصرية المُرسلة عبر الليف قبل وبعد الوصل، بالإضافة إلى أداة شق (Cleaver) لقطع الليف بسطح عمودي دقيق. كما وتتضمن المعدات عادة أداة لإعادة تغليف أطراف الليف بعد الانتهاء من عملية الوصل (الشكل 6-47).



الشكل 6-47 عدّة وصل بواسطة الصهر (تقدمة فوجيكورا Fujikura)



الشكل 6-48 موصلة ليف يجري التحكم بها من خلال الكمبيوتر (تقدمة Brand Rex)

يستعمل بعض المصنعين كمبيوترات مُصغرة للتحكم بعملية الوصل مثل تلك الظاهرة في الشكل 6-48 والتي توظّف نظام استشعار وتحكّم في حقن محلي متكامل للضوء (Integrated Local Light Injection of Detection System - LLIDS) لـرَصـفِ الألـيـاف بدقة.

6-4-4-1 وصل ألياف متدرّجة المعامل بالصهر

هذه الطريقة هي من أكثر الطرق استعمالاً لوصل طويل الأمد للألياف كما ذُكر في القسم 6-2-5. في هذه الطريقة يجب إزالة الغلاف البلاستيكي عن الألياف التي ستوصل، ومن ثم تُشقّ الأطراف لتشكيل أسطح أطراف عمودية على محور الليف. وتوضع هذه الألياف في شقوق دالّة (حيث تصطفّ الألياف تلقائياً) ومن ثم يقرّب الليفين من بعضهما ليصبحا متقاربين جداً. يجري بعدئذٍ إشعال القوس الكهربائي لتلحيم هذين الليفين مع بعضهما. ويُعاد تغليف الليفين بمادة بلاستيكية من بعد أن يجري تبريد نقطة الوصل، وذلك لحمايتها من العوامل الخارجية ومن أجل جعل القُطر الخارجي مساوياً لحجم قُطر الليف وهو مغلّف بغلافه البلاستيكي.

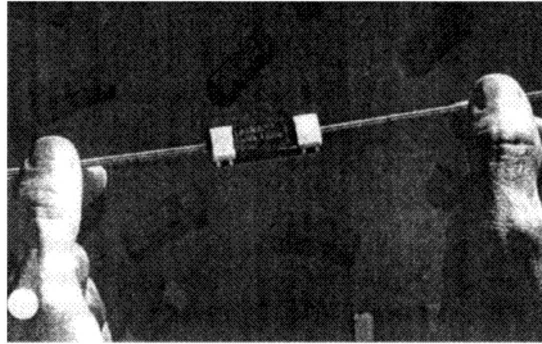
وبالإمكان تأمين حماية أكبر من خلال تغضين موصّل رابط على الأنبوبين الصادين (Buffer Tubes) ووضع سليكون مطاطي يعالج بالهواء من أجل إعادة تغليف نقطة الوصل.

6-4-4-2 الوصل بالانصهار للألياف مفردة النمط

على الرغم من إمكانية استعمال تقنيات وصل مماثلة لليف مفرد النمط، إلا أن دقّة الوصل بالانصهار لليفين مفردي النمط مع بعضهما (ربما بلبّ يبلغ قطره 10 ميكرومترات أو أقل)، أكثر دقة من التي تتوافر في الطرق الأخرى، إلا أنها لا تُستخدم كثيراً.

6-4-4-3 الوصل متعدد الألياف

تتطلب عملية ربط ألياف مفردة مع بعضها وقتاً طويلاً. وتعقيباً على المقدمة المتعلقة بأنظمة وصل الألياف المتعددة (Multi-Fiber Splicing Systems) (الشبيهة لتلك الموجودة في الشكل 6-49)، إذ جرى تقليص الوقت الذي تستغرقه العملية.



الشكل 6–49 مثال على الرابط البصري المتعدد الألياف 12 ـ ليف (تقدمة AURTGA (Europe) PLC)

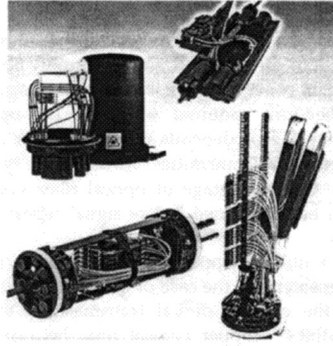
ويمثل المثال الظاهر في الشكل 6–49 جهاز (Fiberlok 21612) من صنع شركة (3M) يسمح بتعرية، وشق، ووصل 12 ليف مفرد النمط في أقل من خمس دقائق. إن وحدة الوصل الكاملة تحتوي على مجموعة من أخاديد محفورة على شكل الحرف (V) أي (V- Grooves) تصفّ الليف بدقة ليجري وصله. ويبلغ حجمها 17×13×38 ملم، كما إنها ملائمة للسلكين المجرد (Discrete) والشريطي (Ribbonized). ويقدر معدل فقد إدخال (Mean Insertion Loss) السلك بحوالى 0.07 دسيبل. وأما الانعكاس فيقدر بأقل من 60 دسيبل عند قدرة إنتاج (Yield) تقدر بـ 97.8 في المئة.

يجري الوصل من خلال أربعة مراحل بسيطة، فعند وصل ألياف منفردة توضع هذه الألياف بشكل شريطي باستعمال أداة خاصة، بحيث يصبح التعامل مع الألياف بأنها سلك شريطي واحد. ومن ثم تجري عملية إزالة الطلاء الأساسي عن الألياف كلها بواسطة أداة حرارية، ويجري تركيب هذه الألياف على حاملة لشقها حيث تجري عملية شق الألياف كلها في الوقت نفسه. ويُستعمل ميكروسكوب ذو قدرة تكبير بنحو 25 مرة، وذلك للتأكد من خلو

الشق من القشور والنتوءات. وبعد ذلك توضع الألياف التي جرى شقها داخل أداة صف دقيقة، وتُخضع لضغط كافٍ للتأكد من أن أطراف الألياف قد تلامست مع بعضها. ومن ثم توضع مادة لزجة ذات معامل مطابق لمعامل الألياف للحصول على فقد إدخال منخفض، ومن ثم تضاف مادة لزجة مضادة للرطوبة على آلية التثبيت لمنع وصول الرطوبة إلى الوصلة.

6-4-5 قطع وإحكام غلق كابل الليف البصري

تُستعمل الأسلاك النحاسية كثيراً من أدوات الغلق والاحتواء (Enclosures and Containers) (الشكل 6-50) التي تحمي المفاصل والأجزاء الأخرى عند نقاط الوصل، التي توضع في فتحات التمديد، أو في علب خاصة فوق أو تحت مستوى الأرض.



الشكل 6-50 أمثلة عن أدوات إحكام الإغلاق

وإن واحدة من أهم التغييرات الناتجة من استعمال الألياف البصرية هي زيادة حجم أداة الغلق، وذلك لإضافة مساحة كافية لترتيب الوصلات بشكل جيد ولتأمين مساحة جيدة لضمان إبقاء قُطر انحناء (Bending Diameter) الليف ضمن الحدود المسموح بها. ولذلك يجب تصميم هذه القطعة لتربط عناصر التقوية (Strength

(Members) بشكل محكم مع بعضها، ولمنع دخول الماء، وللحفاظ على مستوى الضغط (إذ كان السلك مضغوطاً)، ولربط وتفريغ الكهرباء من أي عنصر معدني في السلك (مثل الدرع الحامي)، وبالإضافة إلى إمكانية الوصول إلى الأسلاك إذا ما اقتضت الحاجة، وذلك لتسهيل تغيير الوصلات أو تصليحها. وهناك حاجة إلى المساحة الإضافية، وذلك لوضع الملفات (Coils)، ولوصل دروع الأسلاك، والعناصر المقوية الأخرى.

تكون الألياف في الأسلاك البصرية متعددة الألياف مرتبة ضمن مجموعات أو وحدات موجودة داخل علب الاحتواء. وعادة ما تتكون كل وحدة من حوالى 10 وصلات ألياف منفردة، كما ويجري ترتيب العدد المطلوب من الألياف داخل علبة الاحتواء المصنوعة خصيصاً لهذا السلك بالتحديد. وتتوافر في الأسواق أدوات الغلق التي تتناسب مع كل المتطلبات سواء أكانت لوصل ليفين فقط أم وصل 2000 ليف.

ملاحظة: يجب أن تسمح علبة احتواء الوصلات الليفية (Fiber Splice Enclosures) بتنظيم الوصلات والألياف بطريقة تسهل عملية تمييزها، كما ويجب أن تكون واسعة بشكل كاف إذا ما تطلب الأمر إضافة وصلات جديدة أو إجراء التعديلات في المستقبل.

6-4-6 المكررات ومعيدات التوليد

إن عمل هذين الجهازين الأساسي هو استقبال الإشارة البصرية، وتحويلها إلى إشارة كهربائية، ومن ثم تضخيم (أو إعادة توليد) المعلومات وتحويلها إلى إشارة بصرية من جديد. ولذلك فإن جهاز إعادة التوليد أو «المكرر» هو حاجة أساسية عندما تصل الإشارة البصرية إلى مستوى حرج. ويعتمد هذا على عوامل عدة مثل نوع

المصدر المُرسل (Transmitter Source)، وطول موجة المرسل (Transmitter Wavelength)، ونوع الليف، ومعدل الإرسال (Transmission Rate). إن إحدى ميزات أنظمة الليف البصري هو أن عُمر الإشارة الضوئية طويل بما فيه الكفاية لتقطع مسافة كبيرة قبل أن تحتاج إلى إعادة توليد أو تكرار.

لذلك فإن استعمال الألياف البصرية، على عكس الأسلاك النحاسية، يُقلّص من عدد أجهزة التكرار (Repeaters) المطلوبة في البث التماثلي، وأجهزة إعادة التوليد (Regenerators) المطلوبة في البث الرقمي. ويحتاج السلك النحاسي متحد المحور (ذو سعة قد تصل إلى 100 ميغابت) إلى جهاز إعادة توليد لكل كيلومترين اثنين من المسافة، ويعود ذلك إلى التوهين المتأصل في السلك. أما إذا ما استعملت الصمامات الثنائية الليزرية وليف ذو معامل متدرج للدارة نفسها فإنها بحاجة إلى جهاز إعادة توليد لكل 20 كلم. إن لدى بعض الألياف مفردة النمط سعة تصل إلى 200 GHz تتطلب جهاز إعادة توليد لكل 100 كلم.

ويتضمن الجدول 6-4 معلومات ملخّصة عن المسافات التي تفصل بين كل مولد (Regenerator) وآخر:

● ليف المعامل المتدرج أصغر لطول موجي يُساوي 850 نانومتر مناسب للتطبيقات ذات السعات الموجية 2 ميغابت و8 ميغابت، ويُستخدم في أنظمة تساوي سعة موجتها 34 ميغابت. وأما في حال استعمال الصمامات الثنائية الباعثة للضوء، فنحتاج إلى جهاز إعادة توليد عند مسافة تتراوح بين 8 و13 كلم، ويعتمد ذلك على معدل الانلقل أو الارسال. وأما عند استعمال الصمامات الليزرية، فإن العامل الذي يحد من القدرة هو التوهين مقابل السعة. وفي هذه الحالة سنحتاج إلى جهاز إعادة توليد عند مسافة تتراوح بين 10 و16 كلم، ويعتمد ذلك على معدل الارسال أيضاً.

الجدول 4–6 يُبيِّن الجدول المسافات النمطية اللازمة للفصل بين جهاز اعادة توليد وآخر لكل من ألياف المعامل المتدرج متعدد الطور، ومفرد الطور، على أساس معدلات الإرسال والأطوال الموجية.

تتحدد المسافة بين جهاز اعادة توليد وآخر على أساس:	الصمام الثنائي الباعث للضوء (LED)		الليزر	
	التوهين	عرض النطاق الموجي	التوهين	عرض النطاق الموجي
ليف معامل متدرج 850 nm (400 MHz km)				
معدل النقل: 2 $Mbits^{-1}$	12 km- 8 km		16 km - 12 km	
8 $Mbits^{-1}$		11 km	15 km - 10 km	
34 $Mbits^{-1}$	5 km	13 km - 10 km		
ليف معامل متدرج بطول موجة 1300 نانومتر (أي 1300 ميغاهرتز/ كيلو متر)				
معدل النقل 34 $Mbits^{-1}$		12 km	30 km - 17 km	
140 $Mbits^{-1}$		7 km		20 km
ليف مفرد النمط بطول موجة 1300 نانومتر (20 ميغاهرتز/ كيلو متر)				
معدل النقل 140 $Mbits^{-1}$			40 - 20 km	
565 $Mbits^{-1}$			30 - 16 km	

إن الليف البصري ذا معامل الانكسار المتدرج مناسبٌ أيضاً للاستخدام على موجة بطول 1300 نانومتر، وبمعدل ارسال يُساوي 34 أو 140 ميغابت في الثانية. إن العامل الذي يحدّ من قدرة الصمامات الثنائية الباعثة للضوء هو كمية التشتت المادي (Material Dispersion) إلا أنه بالإمكان زيادة مدى الإرسال من خلال استعمال الصمامات الثنائية الليزرية. وتعتمد كذلك المسافة الفاصلة بين مولد وآخر في نظام ذي معدل إرسال يُساوي 34 ميغابت في الثانية على مقدار الفقد في السلك. وأما في الأنظمة ذات معدل ارسال يُساوي 140 ميغابت في الثانية، فإن المسافة الفاصلة تعتمد على كمية التشوه الشكلي (Modal Dispersion) للإشارة. وإن أيّ زيادة معدل البث لأكثر من 140 ميغابت في الثانية غير عملي، وذلك بسبب السعة الموجية المحدودة.

- إن الألياف مفردة النمط العاملة عند طول موجي يُساوي 1300 نانومتر مناسبة لمعدلات بِت (Bit Rate) عالية وأطوال كبيرة المقطع. كما إن المسافة الفاصلة بين جهاز تكرارٍ وآخر ستتحدد كلياً اعتماداً على كمية الفَقْد في الرابط.

على الرغم من أن التكنولوجيا الحالية تُقيّد معدلات الارسال العالية ضمن معدل إرسال يُساوي 564 ميغابت في الثانية فقط، إلا أنه باستعمال التكامل عالي الدرجة (Very Large Scale Integration - VLSI) من الممكن تحقيق معدلات ارسال تفوق جيغابت واحد في الثانية.

تحتاج أجهزة التكرار ومعيدات التوليد إلى حاويات واقية تحميها من العوامل الخارجية. وتُصنع هذه الحاويات عادة من الحديد المعالج بالحرارة من الداخل والخارج، ويُضاف إليها طلاء بلاستيكي

متعدد الطبقات مضادٍ للتآكل (Plastic-Based Multi-layer Anti-Corrosion Coating). يسمح بوضع الحاويات تحت سطح الأرض لكي لا تتعرض إلى فروقات في درجة الحرارة كبيرة، وجعلها صعبة المنال للأشخاص غير المخولين الوصول إليها.

تحدثنا في هذا الفصل عن متطلبات وأنواع الموصلات والمقرنات المتوافرة من أجل وصل الألياف البصرية، كما وتحدثنا عن طرق الوصل المختلفة. وأما في الفصل القادم فسنلقي الضوء على كيفية استعمال الألياف البصرية في منظومات الاتصال.

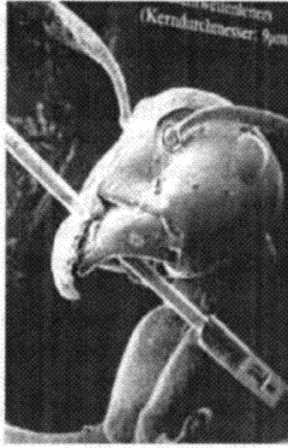
الفصل السابع
أنظمة الاتصالات

ناقشنا في الفصول الستة السابقة خلفية، وميزات، ونظريات، وبنية الأجهزة الإلكترونية البصرية، وكبلات الألياف البصرية. وسنتكلم في هذا الفصل عن كيفية استعمالها في شبكات الاتصال المحلية والشبكات بعيدة المدى. وكيف يجري تصميم نظام كبلات الألياف البصرية وتقنيات التركيب المستعملة.

على الرغم من أن المودم الضوئي ظهر مع اكتشاف الليزر في عام 1960، إلا أن صناعة الاتصالات السلكية واللاسلكية لم تستفد منه حتى السبعينيات من القرن العشرين، مع تحسّن جودة الألياف البصرية ذات الخسارة القليلة، واستعمالها ككبلات للخدمة الهاتفية تحت البحر. ومنذ ذلك الحين بقيت القوة المحرّكة لتطور البصريات محصورة في صناعة الاتصالات السلكية واللاسلكية، بالإضافة إلى النمو الكبير في صناعة الإنترنت.

من الناحية النظرية، إن أي نوع من الإشارة يمكن أن ينتقل خلال الليف البصري. مثلاً، الصور المتحركة التي تُبث من خلال الإشارة الفيديوية التماثلية (Analog Video)، ونظام البث التلفزيوني (NTSC) أو نظام خط تناوب الصورة (PAL)، وهو نظام لتشفير الألوان يُستخدم في أنظمة البث التلفزيوني، أو إشارة الصور المتحركة الرقمية المتسلسلة (Serial Digital Video) (من 19.4 ميغابت في الثانية وحتى 1.5 جيغابت

في الثانية أو أكثر)، والبث السمعي التناظري، والتشفير الرقمي، وبيانات التحكم المتوازية والتسلسلية، والاتصال الداخلي (Intercom)، ووصلات كاميرات تبث عبر موجات الراديو، والإيثرنت (Ethernet)... إلخ. إن الليف عبارة عن أنبوب صغير بحجم شعرة الإنسان، غير أنه ذو سعة تكاد تكون غير متناهية (الشكل 7-1).



الشكل 7-1 الحجم النسبي لليف مقارنة برأس برغوث (تقدمة شركة Brand Rex)

7-1 الشبكات المحلية

من المثير للاهتمام أن نلاحظ وجود سبعة ألوان في قوس قزح، ولكن حتى الستينيات من القرن العشرين كان اللون الأسود هو اللون الوحيد المتوافر للهواتف! وهذه هي طبيعة فلسفة الاحتكار التي سمحت بطريقة فاعلة للشركة المحتكرة أن تفرض نوع الخدمة المتوافرة للمشتركين ـ على عكس مبدأ البيع من خلال تأمين الخدمات التي تلبي حاجات المستخدم ـ وعلى كل حال فإن فلسفة الاحتكار قد انتهت. ومنذ ذلك الحين انتقلنا من استعمال هاتفين على المكتب (هاتف للمكالمات الخارجية والآخر للمكالمات الداخلية)،

ومررنا خلال أربعة أجيال من أنظمة التحويل، من نظام تماثلي إلى نظام رقمي، ومن شبكات محلية نحاسية إلى شبكات محلية ليفية بصرية وإلى ما يحتاج إليه المستخدم.

تواجه أنظمة الكبلات المحلية (مثلاً خدمة التلفزيون الكبلي) اليوم صعوبة بالغة في بيع خدماتها عبر شبكة الأسلاك النحاسية، وقليل من المنازل التي تشتري هذه الخدمة. حتى الأنظمة الموجودة لدى شركة (French Mintel)، وهي أنظمة، تؤمن للمشتركين محطة بدلاً من دليل الهاتف، وإمكانية الحصول على تقارير الأرصاد الجوية، وأسعار الأسهم وخدمات أخرى، متخصصة عبر شبكة أسلاك نحاسية تربط حوالى 3.5 مليون مستخدم، إلا أن هذه الأنظمة لم تُستعمل قدراتها بالكامل. وعلى الرغم من أنها مثيرة للاهتمام، إلا أنه من الصعب أن تؤمن للمستهلك ما يحتاج إليه تماماً، أي كمية لامتناهية من المعلومات بمجرد كبسة زر.

وطبعاً لم تقم الشركات الخاصة بشبكة الكبل بإهمال هذا الوضع، إذ إنها كانت تلاحظ نمو عدد مستخدمي الاتصالات اللاسلكية والسلكية. والواقع، أنه عند انتهاء عام 2002 كان شخص واحد من كل ثلاثة أشخاص يعمل من منزله. ولهذا السبب بالتحديد أصبحت شركات كثيرة تبدي اهتماماً بسوق الألياف البصرية.

على الرغم من الكلفة المتزايدة وصعوبة عمليات الربط والوصل، إلا أن المحاسن العديدة المرافقة لتكنولوجيا الألياف البصرية التي تتفوق على محاسن الأسلاك النحاسية والأسلاك متحدة المحور، فإن هذه المحاسن تضمن استعمال الألياف البصرية أكثر فأكثر لتأمين خدمات ربط واتصال عبر الموجة العريضة بالإنترنت لإنجاز الأعمال (مثل خدمة التخابر بالصورة (Video Telephony) ونصوص الفيديو والاجتماعات عبر الأقمار الاصطناعية (Video Conferencing)) وللمشتركين العاديين (خدمة قنوات برامج الراديو/التلفزيون، والتسوق

من البيت (Armchair Shopping) والتخابر عبر الفيديو).

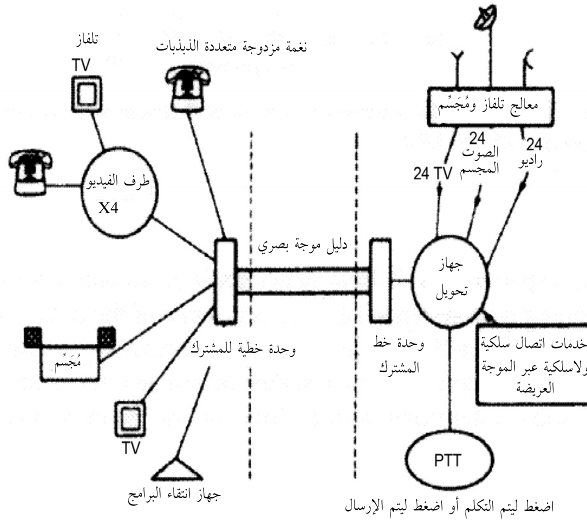
إن الازدياد الكبير في عدد مستخدمي الإنترنت يعني تنامي حجم تدفق المعلومات عبر الشبكات السلكية واللاسلكية، ويأخذ هذا التدفق أشكالاً عديدة ينظمها بروتوكول الإنترنت، مثل الصوت، وبث المعلومات والفيديو، وكل هذا يتطلب طبعاً زيادة في السعة كلما ازداد الطلب على هذه الخدمات.

يجري توزيع برامج الستيريو الصوتية والبرامج التلفزيونية عادة من خلال خدمات البث المرئي والمسموع. وفي الشبكة المحلية ذات نطاق الموجة البصرية العريض، يجري وصل المستخدمين بهيكل نجمي يقوم المشترك فيه باستخدام قناة انتقاء برامج ليختار البرامج التي يرغب فيها من محطة التحكم بالشبكة. إن إحدى محاسن هذه التقنية هي أن عدد البرامج التي يمكن توزيعها غير محدود افتراضياً. ويجبُ أن يكون هناك قنوات بث كافية متوافرة لكل خدمة لضمان إمكانية قيام عدة أشخاص بالدخول إلى شبكة مستخدم ما من خلال دخل هذا المستخدم وبشكل متزامن. وعند التخطيط لشبكات مشتركين محلية، وعند تأمين المتطلبات الحالية يجب الأخذ بعين الاعتبار وجوب توسيع الشبكة في المستقبل. وفي أنظمة الأسلاك النحاسية، فإن ذلك يعني إضافة أزواج من الأسلاك في حال كانت هناك حاجة إلى توسيع ما في الشبكة في المستقبل. وأما في أنظمة الألياف البصرية فإن توافر أنماط البث يضمن بشكل افتراضي أن يتوافر ما يكفي من القنوات بشكل دائم.

إن مخطط شبكات المشتركين يختلف من منطقة إلى أخرى ومن بلدٍ إلى آخر، غير أنها عادةً تتألف من 16 قناة ضيقة الموجة (Narrow Band) بقوة 16 كيلوبت في الثانية الواحدة لأغراض الهاتف أو لبث المعلومات، ومن قناتين بقوة 16 كيلوبت في الثانية من أجل تواصل المستخدم عبر الفيديو، وأربع قنوات صوت ستيريو، وأربع

قنوات عريضة الموجة من أجل البث التلفزيوني، وثمان قنوات لانتقاء البرامج والمراقبة.

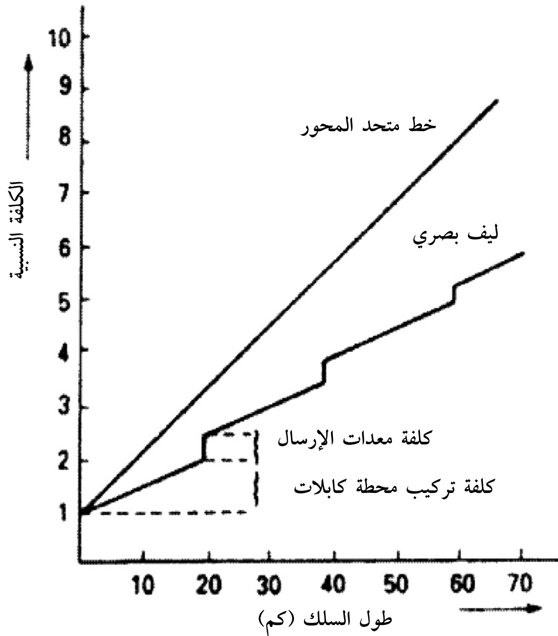
ومن جهة المشترك ينتهي الخط في وحدة إنهاء الخط (Line Terminating Unit - LTU) التي تحوّل الإشارة البصرية إلى إشارة كهربائية وبالعكس. كما يَقوم الجهاز بشيء من مضاعفة (Multiplexing) وقسمة الإشارة المُرسلة (Demultiplexing) عبر سلك داخلي بين وحدة إنهاء الخط والأجهزة المصاحبة.



الشكل 7-2 نظام خدمات الاتصال للمشتركين باستعمال الليف البصري كدليل موجة.

تعمل وحدة الإنهاء الخطية عند جهاز التحويل المركزي كجهاز مضاعف ومقسم (Muldex) للإشارات والخدمات المحوّلة (Switched Services) التي يجري تأمينها للمشترك، وهي مفصولة من خلال مضاعفة تقسيم الوقت (Time Division Multiplexing)، ومتحدة مع إشارة خطية ثنائية (Binary Line Signal)، ومُرسلة رقمياً إلى المشترك عبر دليل موجة بصري. ويوضح الشكل 7-2 مخطط هذا النظام.

ولأسباب اقتصادية وتشغيلية محض، فإن خطوط المشترك، وكقاعدة عامة، تعمل على أساس عدم التكرار. ومع أن كلفة سلك الليف البصري لا تزال عالية قليلاً، إلا أنها تُكلف أقل من استعمال السلك متحد المحور، والشكل 7-3 يظهر رسماً بيانياً يُوضح ذلك.



الشكل 7-3 مقارنة بين كلفة النظام متحد المحور وكلفة النظام الليفي البصري لمعدل إرسال بقوة 565 ميغابت في الثانية.

إن الخبرة المسبقة والتعامل مع الشبكات المحلية مهمة جداً عند تصميم أنظمة شبكات جديدة. مثلاً، نتج من بعض المعلومات التي حصل عليها المهندسون في منتصف التسعينيات من القرن العشرين من مشروع في شمال أميركا (وجرى فيه استعمال حوالى 4000 كيلو متر من الألياف، مركبة في مسار أسلاك ذات طول 70 كلم) نتائج مثيرة للاهتمام. وأهم درسين جرى تعلمهما في هذا المشروع هما:

• خصائص تحمل الشد (Tensile Characteristics) (لم يُظْهِر السلك تزايداً مهماً في كمية التوهين، أي أقل من 0.1 دسيبل في الكيلومتر الواحد على موجة بطول 850 نانومتر، بتجاوب مع قوة شد تبلغ حوالى 2500 نيوتن).

• التفاعل مع تغيرات الحرارة (تغير في التوهين كان دائماً أقل من 0.8 دسيبل في الكيلومتر الواحد على موجة بطول 850 نانومتر، بين 30 درجة مئوية تحت الصفر و60 درجة مئوية فوق الصفر).

7-2 الشبكات البعيدة المدى

قبل الاستعمال الواسع للألياف البصرية، كان استعمال الأسلاك متحدة المحور والموصلات النحاسية المتوازية سائداً في الشبكات بعيدة المدى على الصعيد الوطني. وكان تصميم الأسلاك يعتمد على طريقة البث، إما على طريقة مضاعفة تقسيم تردد (Frequency Division Multiplexing - FDM) البث التماثلي، أو بطريقة تضمين الشيفرة بالنبض (Pulse Code Modulation - PCM) للبث الرقمي.

ومع تزايد استعمال تقنيات البث الرقمي والنمو المتزايد لخدمات المعلومات صار توسيع الشبكات بعيدة المدى أمراً ضرورياً لا سيما في يومنا هذا، وبسبب مساوئ (قلة السعة والحجم... إلخ) الموصلات النحاسية، فإن الألياف البصرية أصبحت الخيار المفضل يوماً بعد يوم.

وطبعاً فإنه من المكلف استبدال كل شبكات الأسلاك النحاسية بألياف بصرية، خصوصاً أن شبكات الأسلاك النحاسية مصممة لاستيعاب كثافة استخدام عالية.

وبدلاً من ذلك، فإن الألياف البصرية أكثر ملاءمة لتَحمِل

مجموعات من الإشارات (مثلاً 300 مجموعة)، والتي تسمى حسب مصطلحات الإلكترونيات البصرية بـ «طرق المرور السريعة» (Highways). وترى التكنولوجيا الحالية أن الكلفة تقل بعد مسافة 10 كلم من امتداد ليف بصري أساسي، ومع ذلك يجب البحث عن طرق أخرى للمسافات البعيدة جداً، كاستعمال وصلات الموجات الميكروية (Microwaves Links).

7-3 شبكات الهاتف

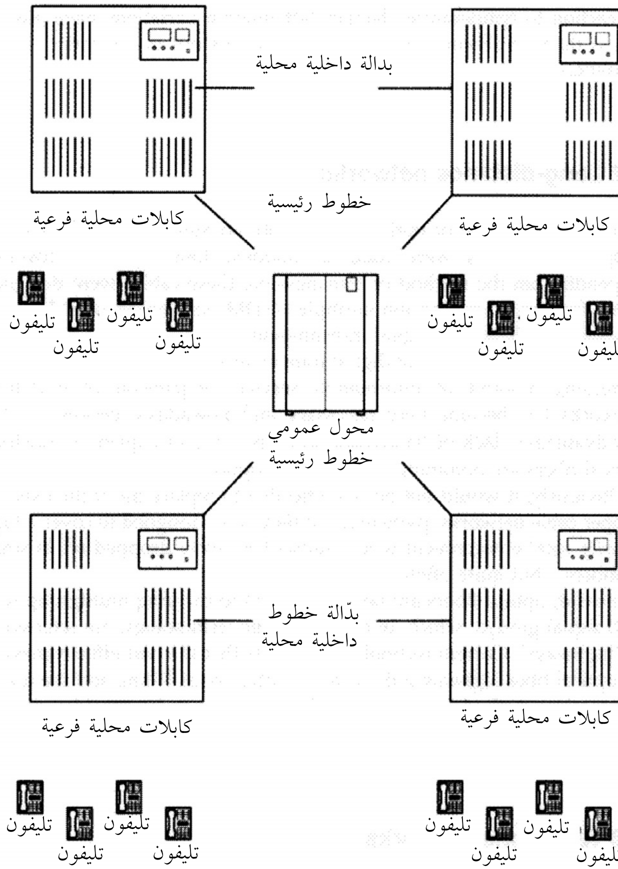
تقسم شبكات الهاتف إلى مستويين متمايزين، شبكات محلية وشبكات بعيدة المدى. يجري وصل المستخدم في الشبكات المحلية ببدّالة الهاتف النهائية أو المحلية باستخدام أسلاك وصلة محلية. ومن ثم يجري وصل البدالات بخطوط رئيسة بين البدالات المحلية (Inter-exchange) لتشكيل شبكة محلية للمنطقة (Regional Networks). ومن ثم يجري مدها إلى البدّالة الرئيسة من خلال خطوط رئيسة (الشكل 7-4).

إن السِّعات النمطية للأسلاك هي عادة:

- سعة الخطوط الرئيسة (Trunk Lines) ـ وتتحمل حوالى 2000 ليف أو أكثر.

- سعة الخطوط الفرعية (Branch Lines) ـ وتتحمل من 100 إلى 200 ليف.

- سعة خطوط المشتركين (Subscriber Lines) ـ من ليف واحد إلى 10 ألياف.



الشكل 7-4 مثال عن شبكة الهاتف

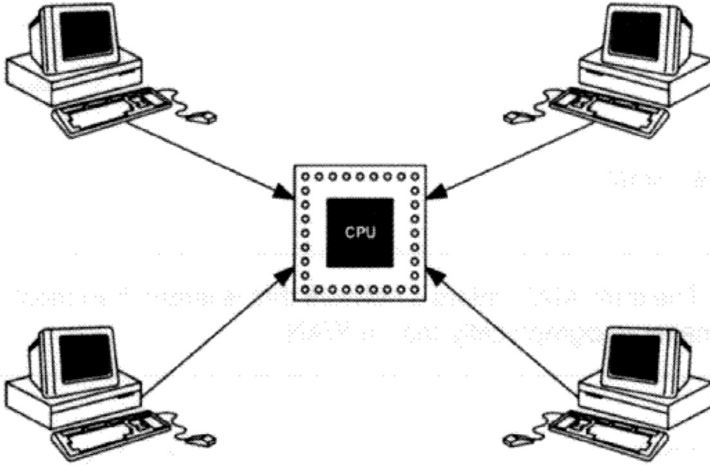
7-4 شبكات البيانات

هنالك ثلاثة أنواع من شبكات البيانات وهي:

- الشبكة المحلية (Local Area Network - LAN).
- الشبكة المدينية (Metropolitan Area Network - MAN).
- شبكة المساحة الواسعة (Wide Area Network - WAN).

7-4-1 الشبكة المحلية (LAN)

تتألف هذه الشبكة (الشكل 7-5) من عدد من الأطراف النهائية (Terminals)، والمعالجات الإلكترونية الدقيقة، وكومبيوترات موضوعة في مبانٍ متجاورة موصولة من خلال وحدة معالجة مركزية (CPU) أو خادم (Server) يسمح للأطراف النهائية بمشاطرة موارد المعلوماتية عبر الشبكة (نمطياً بقُطر دائرة كاملة كيلومتراً واحداً) باستعمال الإنترنت أو بروتوكولات مشابهة.

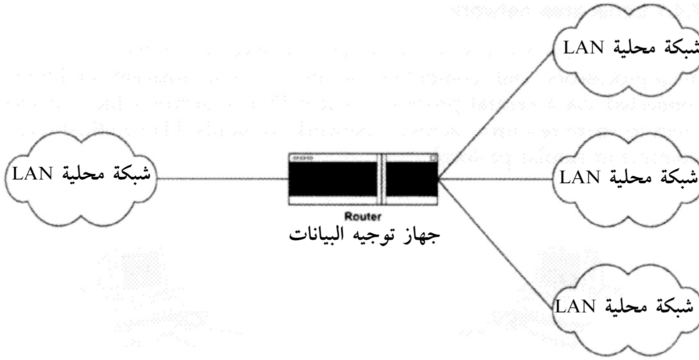


الشكل 7-5 الشبكة المحلية (LAN)

ملاحظة: إن الإيثرنت عبارة عن بروتوكول شبكة محلية (LAN) طوّرته شركة زيروكس (Xerox) بالتعاون مع (DEC) وشركة إنتل (Intel) في عام 1976. وتُستعمل هذه الوسيلة الترتيب المتفرع من خط رئيس (Bus Topology)، ولها القدرة على الوصول إلى معدلات بث بيانات تقترب من 10 ميغابت في الثانية. وأما الإيثرنت السريع (100 Base X) فهو نسخة محسّنة من الإيثرنت وتصل قدرتها على بث البيانات إلى حوالى 100 ميغابت في الثانية.

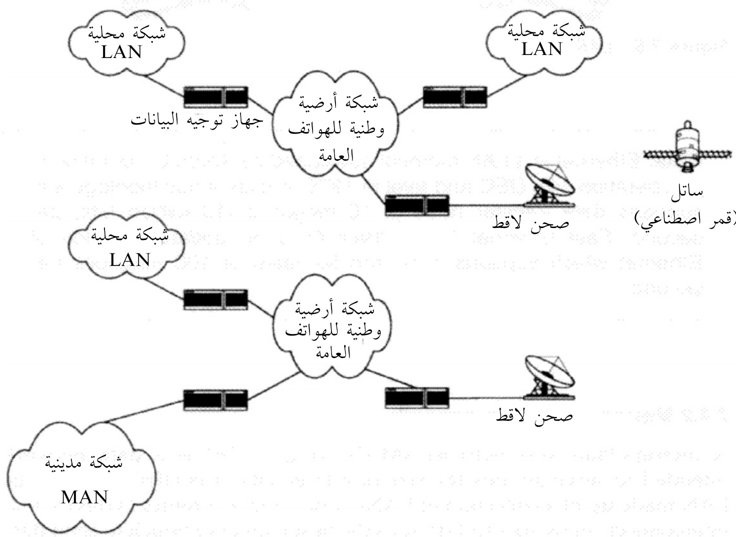
7-4-2 الشبكة المدينية (MAN)

إن هذه الشبكة (الشكل 7-6) هي شبكة بيانات مهمتها خدمة منطقة بحجم مدينة، فهي عبارة عن شبكة محلية كبيرة تتألف من مجموعة شبكات محلية صغيرة موصولة كلها بجهاز توجيه البيانات (Router) (وهو جهاز يوصل بين الشبكات ويحدد المسار الأفضل لإرسال البيانات بين هذه الشبكات) التي تعمل في منطقة بحجم مدينة.



الشكل 7-6 الشبكة المدينية (MAN)

> ملاحظة: يعني مصطلح الشبكة المدينية (MAN) شبكة أكبر من معظم الشبكات المحلية، غير أنها أصغر من الشبكة ذات المساحة الواسعة (WAN) من الناحية الجغرافية.



الشكل 7-7 شبكة المساحة الواسعة (WAN)

7-4-3 شبكة المساحة الواسعة (WAN)

إن هذه الشبكة (الشكل 7-7) شبكة تتوسع على مدى جغرافي كبير. وتتألف من عدد من الشبكات المحلية والشبكات المدينية الموصولة في ما بينها. وهناك كثير من الشركات متعددة الجنسيات تُشغّل شبكات المساحة الواسعة عبر القارات، وتستخدم عادة شبكات أرضية للهواتف العامة - Public Switched Telephone Network) (PSTN. ويفصّل الشكل 7-7 كيف يمكن لمجموعة من الشبكات المحلية تتصل في ما بينها من خلال أجهزة توجيه البيانات عبر شبكة أرضية للهواتف العامة. وترسل الشبكات المحلية المعلومات عبر الأقمار الاصطناعية إلى قارات مختلفة، ما يُكوّن شبكة مساحة واسعة، فيما يمكن للشبكة المدينية أن تدخل ضمن شبكة المساحة الواسعة باستعمال أجهزة توجيه البيانات.

5-7 تصميم نظام ليف بصري

إن ما يجب الاهتمام به عند تصميم نظام ليفي بصري هو كمية الفقد الناتج من التوهين والسعة القابلة للاستعمال. ويمثل كلاهما دالة كمية طاقة الداخل اللازمة لانتاج طاقة خَرِج يمكن الاستفادة منها. وتمثل كمية فقد الإشارة في هذا النظام دالّة خرج الطاقة مقابل دخل الطاقة وتقاس بالـ (dB/km) من الأسلاك مثل:

$10\log [P_{out} / P_{in}]$ وتقاس بالـ dB/km^{-1}.

ويجب الأخذ بعين الاعتبار التوسُّعات المستقبلية للنظام، التي لا تتضمن إضافات إلى النظام فقط، بل أيضاً ضرورة ربط أسلاك جديدة بالأسلاك الموجودة في النظام نفسه، وكذلك أعمال الحفريات، وتوجيه البيانات (Routing)... إلخ.

وعلى كل مهندس شبكة محلية، سواءً أكانت شبكات خاصة أم شبكات للأعمال، أن يعي النقاط الآتية:

- عدد المشتركين.
- نوع التركيب (داخلي، أو في فتحات التهوئة، أو معلقة في الهواء أو تحت المياه).
- خصائص الارسال (تلفزيوني متعدد القنوات، اجتماعات عمل عبر الاتصال الفيديوي (Video Conferencing)... إلخ).
- البيئة الجغرافية والمناخية (الحرارة، الضغط، الثلج أو العواصف... إلخ).
- قيود البيئة المحلية (مثلاً، الحاجة إلى استعمال سلك مغلف ضد القوارض أو الاحتراق).

يجب إبقاء التوهين الناتج من ربط أو جدل الألياف (يتراوح عادة من 0.05 إلى 0.02 دسيبل)، والناتج من توزيع الأسلاك بشكل متقاطع، بالإضافة إلى الربطات الفرعية والخطية المتشابكة في أدنى حد. وبدلاً من استعمال أطر توزيع رئيسة (MDFs)، يمكن الحصول على أدنى مستوى توهين إما من خلال وضع أسلاك منفصلة للشبكات المتفرعة (عكس طريقة ربط السلك بخط الشبكة من أجل الحصول على خط فرعي لشبكة أخرى)، أو توزيع الأسلاك من غرفة التحويل مباشرة من الكبل الرئيس (Fanning Out). ويمكن تقليص التوهين بشكل طبيعي عند نقطة ربط الكابل بالكابل الآخر إذا استُعملت أسلاك داخل أنابيب متباعدة بشكل صحيح.

7-5-1 الكابلات مقابل الألياف

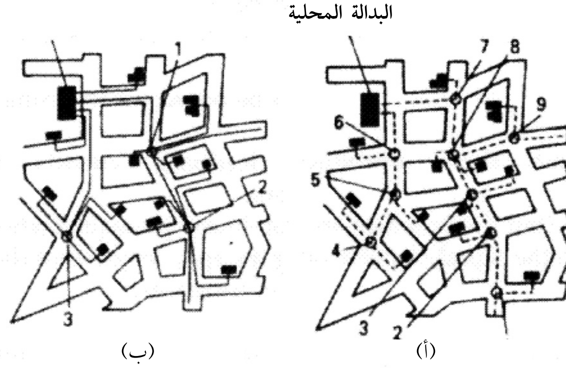
من حيث المبدأ هناك خياران لتحقيق اتصالات سريعة بين نظام وآخر باستخدام كابلات صلبة. ويجري هذان الخياران إما بوصل النظامين ببعضهما البعض من خلال كابلات الألياف البصرية أو الكابلات النحاسية. وعلى الرغم من أن الخيار يعتمد على المسافة والسعة والكلفة، إلا أن النقاط المشار إليها في الجدول 7-1 يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار أيضاً.

يُظهر الشكل 7-8 كيف يمكن استبدال شبكة نحاسية (أ) بشبكة ليفية بصرية (ب). ويبين كذلك أن الشبكة ذات الأسلاك النحاسية تحتاج إلى عدد أكثر من أجهزة المكررات أو إعادة توليد الإشارة، ولذلك هناك حاجة إلى عدد كبير من أجهزة إحكام الإغلاق (Closures) (10 أجهزة في هذه الحالة مثلاً).

الجدول 7-1 الليف البصري مقارنة بالأسلاك النحاسية

الكلفة	إن كلفة الليف للمسافات البعيدة أقل لأن الأسلاك النحاسية بحاجة إلى الكثير من المكررات و/ أو معيدات التولد على مدى المسافات البعيدة. ولكن بالنسبة إلى مسافات لا تزيد على بضعة أمتار، فإن أنظمة الأسلاك النحاسية تكون أقل كلفة. وعلى الأرجح سيظل الأمر كذلك لوقت طويل في المستقبل.
المناعة ضد التشويش الكهرومغنطيسي أو التشويش الناتج من ذبذبات الراديو والبرق	يتضمن البث عبر الليف البصري عادة مضاعفة للإشارة على شكل تدفق تسلسلي للبيانات. ويتبع المضاعفات والمقسمات تحويل (Switching) ذو سرعة عالية، ما يزيد من الانبعاث الذي يجب توفير درع للحماية منه [أي الانبعاث].
الحجم والوزن	يتراوح القُطر الخارجي لليف البصري بين 0.125 ملم إلى ملم واحد. أما القُطر الخارجي للسلك النحاسي فيتراوح بين ملم واحد إلى 10 ملم. وبما أن الوزن النوعي للزجاج هو ربع الوزن النوعي للنحاس وأبعاد الليف أصغر، فإن وزن أسلاك الليف تساوي ثُلث أو عُشر وزن الأسلاك النحاسية.
سهولة التركيب	على الرغم من أن مساوئ ومحاسن هاتين التقنيتين تعتمد على الظروف، إلا أنه وفي معظم الحالات يكون توصيل الألياف أصعب، ويتطلب مهارات خاصة غير المهارات اللازمة في تركيب الأسلاك النحاسية.
سهولة التطوير	بما أن أن الأنظمة الحالية تستعمل جزءاً من السعة الموجية المتاحة، فإن أنظمة الألياف البصرية قادرة على تغطية أي تطوير، يمكن تصوّره، للشبكة.

البدالة المحلية



الشكل 7-8 شبكات محلية ليفية بصرية

من الناحية الأخرى، تحتاج الشبكات المحلية ذات الألياف البصرية إلى عدد أقل من المكررات أو معيدات توليد الإشارة، ولذلك لن نحتاج إلى كثير من أجهزة إحكام الإغلاق (Closure).

7-5-2 رقمي أم تماثلي؟

هل يجب أن يكون النظام رقمياً أم تماثلياً؟ إن لكل من هذين الخيارين محاسنهما ومساوئهما.

7-5-2-1 النظام الرقمي

إن الميزة الوحيدة التي تؤثر في الامتداد الطولي للبث الرقمي هي كمية التوهين المسموح بها بين جهاز إرسال الإشارة البصرية وجهاز استقبالها، وكمية متوسط الطاقة البصرية الضرورية من أجل الحصول على معدل خطأ في البت (Bit Rate Error) محدود جداً.

يُظهر الأخذ بالحسبان حساسية المستقبِل النظرية التي يمكن تحقيقها، أن النظام ليس محدوداً من حيث السعة، وأن البث البصري الثنائي سيُنتج حساسية في جهاز الاستقبال عدة دسيبلات أعلى من البث البصري متعدد المستويات.

تُستعمل ألياف ذات معامل انكسار متدرج في الأنظمة التي يصل معدل إرسالها إلى 140 ميغابت في الثانية. وأما في الأنظمة التي يصل معدل إرسالها إلى ما هو أكثر من ذلك فتُستعمل الألياف مفردة النمط، بخاصة للمسافات البعيدة، إذ إنها تؤمن السعة المطلوبة لأجهزة إعادة توليد الإشارة. ويجب كذلك استعمال الصمامات الثنائية الليزرية لأنه يجب إبقاء سعة الطيف (Spectral Bandwidth) وتقليص التشتت المادي إلى أدنى مستوى عند معدلات البت العالية.

7-5-2-2 النظام التماثلي

بعيداً عن التوهين والسعة، فإن خطية مسار الارسال الإلكتروبصري مهم كذلك للارسال التماثلي. وعلى الرغم من أنه يمكن تحسين الخطية من خلال تقليل الطاقة إلى المُرسل، فإن اختزال عامل التضمين يُقلّص من النسبة الصغيرة بين النظام وضوضائه (System-to-Noise Ratio).

ويمكن التغلّب على ذلك باستعمال:

- دارات التغذية الارتجاعية السالبة (ولكن ينتج منها توهين فائض).
- التعادل المُسبق اللاخطي (Non-Linear Pre-Equalization) (ولكن بكمية خسارة في أداء الصمامات الثنائية).
- تقييد الامتداد الطولي (ولكن ذلك يُقلّص من نسبة الإشارة إلى الضوضاء مع ازدياد الطاقة).

لذلك فإن النظام التماثلي عملي فقط إذا كانت نوعية النظام متواضعة.

7-5-3 الإيثرنت السريع مقابل أسلوب النقل غير المتزامن

ينقسم سوق التشبيك (Networking Market) عادة بين هذين الطرفين، الإيثرنت عند الشبكة المحلية، والأخرى (ATM) عند جهة الولوج. إلا أن الإيثرنت يقدم معدل ارسال يقارب 10 جيغابت في الثانية، لذلك فإن كل من هاتين التقنيتين تأخذ من حصة الأخرى في السوق. وأما الفرق الرئيس فهو الكلفة. وعادة ما تكون مكونات الشبكة المحلية (LAN) أرخص من مكونات الشبكة واسعة المساحة (WAN)، غير أن مكونات الـ (WAN) أكثر فاعلية وجودة.

ويتوقع كثير من الخبراء أن مستقبل الشبكة هو في تقنية أسلوب نقل المعلومات غير المتزامن، والتي يقال بإنها مناسبة جداً للتعامل مع الخدمات متعددة الوسائط (Multimedia)، فهي تلقى قبولاً من صناعة اتصالات الكومبيوتر والتلفاز. ومن المتوقع أن تؤدي هذه التقنية دوراً في توصيل صور ذات جودة عالية في المستقبل. غير أنه من المتوقع في الوقت الراهن أن يصبح الإيثرنت والإيثرنت السريع أكثر البروتوكولات استعمالاً إلى حين ازدياد الطلب على الكومبيوترات متعددة الوسائط (Multimedia PCs) في الأسواق للاستعمال المنزلي وفي سوق التطبيقات الصناعية التي تحتاج إلى خدمات الفيديو.

أما في الجانب السلبي، فبما أن لأسلوب النقل غير المتزامن سعة موجية غير محدودة، فإن الإيثرنت السريع أرخص ويعمل بسهولة في الأسلاك المتاحة والمركبة فعلاً. وبالفعل، فإن منتوجات الإيثرنت السريع ذات السرعة المزدوجة تُوصِلُ الكمبيوترات أسرع عشر مرات من السرعة الاعتيادية للإيثرنت العادي، فيما تحافظ على التناغم في الشبكات ذات معدل ارسال يساوي 10 ميغابت في الثانية.

7-5-4 التضاعف

بوجود نظام ارسال/ واستقبال بصري منخفض الكلفة وبسيط، تستعمل كل دارة فيديو، سواء أكانت رقمية أم تماثلية، عادة ليفاً واحداً. وباستعمال التضاعف، يستطيع ليف واحد أن يدعم ما يصل إلى 64 قناة صوتية، بالإضافة إلى عدة دارات اتصال داخلية (Intercom) ودارات بيانات. إن هذا النوع من التضاعف هو تضاعف تقسيم الوقت رقمياً (TDM) مع خرج ليزري (Laser Output).

الجدول 7-2 مقارنة بين أنواع أنظمة الألياف البصرية، بالإضافة إلى إظهار المساحة الفاصلة بين معيد توليد وآخر وعوامل النظام.

	قوة الإرسال dBm	قوة الاستقبال dBm	فقد الموصل dB	الفقد النظري للنظام (dB)	الحد الأقصى للفقد المقطعي (dB)	فقد الليف $dBkm^{-1}$	فقد الوصلة $dBkm^{-1}$	فقد السلك $dBkm^{-1}$	المسافة الفاصلة بين جهاز إعادة توليد وآخر (km)	عدد القنوات
8 ميغابت في الثانية										
صمام ثنائي باعث للضوء متدرج المعامل 840/ 880 نانومتر	−16	−56	3	37	31	3	0.2	3.5	9	120
ليزر متدرج المعامل 840/ 880 نانومتر	−2	−56	3	51	45	3	0.2	3.5	13	120
صمام ثنائي باعث للضوء متدرج المعامل 1300 نانومتر	−17	−49	3	29	23	1	0.2	1.5	15	120
ليزر متدرج المعامل 1300 نانومتر	−2	−49	3	44	38	1	0.2	1.5	25	120

34 ميغابت في الثانية										
ليزر متدرج المعامل 840/ 880 نانومتر	−3	−52	3	46	40	3	0.2	3.5	11	480
صمام ثنائي باعث للضوء متدرج المعامل 1300 نانومتر	−19	−47	3	25	19	0.8	0.1	0.9	21	480
ليزر متدرج المعامل 1300 نانومتر	−3	−47	3	41	35	0.8	0.1	0.9	39	480
ليزر مفرد النمط 1300 نانومتر	−4	−47	4	39	33	0.5	0.1	0.6	53	480
140 ميغابت في الثانية										
صمام ثنائي باعث للضوء متدرج المعامل 1300 نانومتر	−20	−40	3	17	11	0.8	0.1	0.9	7	1920
ليزر متدرج المعامل 1300 نانومتر	−3	−40	3	34	28	0.8	0.1	0.9	31	1920
ليزر مفرد النمط 1300 نانومتر	−4	−43	4	35	29	0.5	0.1	0.6	48	1920
565 ميغابت في الثانية										
ليزر مفرد النمط	−4	35	4	27	21	0.5	0.1	0.6	35	7680

يمكن تحسين أداء الليف من خلال مضاعفة إشارتين بصريتين أو أكثر على ليف واحد، مثلاً جهاز إرسال ليزر لبث تلفزيوني عالي الجودة (HDTV) يعمل بطول موجة 1310 نانومتر وإشارة تضاعف صوتية بطول موجة 1550 نانومتر. إن هذه المحاصصة الضوئية لليف تسمى التضاعف بتقسيم طول الموجة (Wavelength Division Multiplexing - WDM). وتستعمل هذه الطريقة عندما يكون لدينا عدد محدود من الألياف، مثلاً، عند استئجار ليف غير مستعمل من ناقل محلي للبث عبر مسافات بعيدة، أو بين جهاز

الإرسال والاستديو أو عبر المدن. ولا يكون التضاعف ضرورياً عندما يكون هناك ألياف كثيرة متاحة للاستعمال.

7-5-5 سعة القناة والكابل

في التطبيقات التي تتطلب عدة وصلات اتصال بين النقاط نفسها، يتوجب من الناحية الاقتصادية استعمال نوع ما من التضاعف لدمج قنوات اتصال عدة مع بعضها في ليف مزدوج واحد قبل عملية الإرسال. وتستعمل إشارات نموذجية (TDM) لتضمين ناقل نبضي على فترات مختلفة من الوقت لضمان استخدام ناقل واحد فقط في كل لحظة.

لقد جرى مقارنة المسافة الفاصلة بين معيد توليد الإشارة وأطوال الموجات، وأنواع أجهزة الإرسال في الجدول 7-2، مع عوامل أخرى.

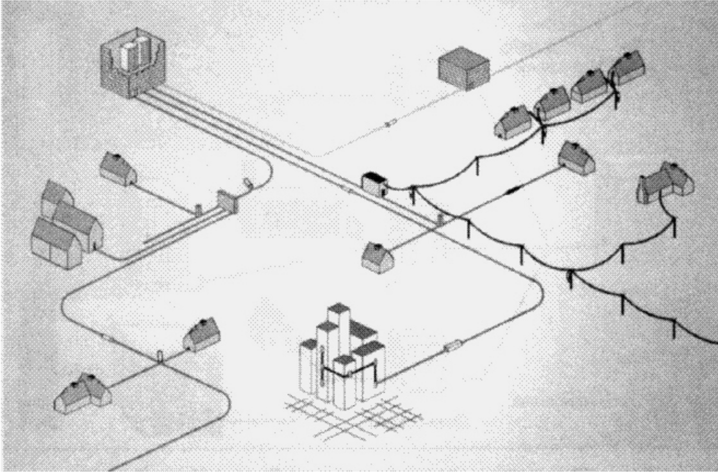
7-5-6 فَقْد الليف

تُظهر معظم الألياف البصرية كمية فقد (الجدول 7-3) من حوالى 4 dB/km إلى 6 dB/km (أو 60 في المئة إلى 75 في المئة فقد في الكيلومتر الواحد) على موجة بطول 850 نانومتر. وعندما يتغير طول الموجة إلى 1300 نانومتر، فإن كمية الفقد تنخفض إلى حوالى 3 إلى 4 دسيبل (أي 50 في المئة إلى 60 في المئة) في الكيلومتر الواحد. وأما على موجة بطول 1550 نانومتر فتنخفض كمية الفقد أكثر من ذلك. وتتوافر ألياف خاصة ذات كمية فقد حوالى 3 dB/km (حوالى 50 في المئة) على موجة بطول 850 نانومتر، وكمية فقد من دسيبل واحد لكل كيلومتر واحد (أي 20 في المئة) على موجة بطول 1300 نانومتر. كما إن التوصل إلى كمية فقد تساوي 0.5 dB/km (10 في المئة) على موجة بطول 1550 نانومتر ليس أمراً صعباً. إن هذا الفقد ناتج بشكل أساسي من استطارة الضوء وامتصاص شوائب الزجاج.

الجدول 7-3 فقد الليف

الليف	المصدر	
	850 نانومتر	1300 نانومتر
متعدد الأنماط	3.5 دسيبل	1.5 دسيبل
مفرد النمط (للاستعمال الداخلي		1.0 دسيبل
مفرد النمط (للاستعمال الخارجي)		0.5 دسيبل

في الكيلومتر الواحد باستعمال المعايير القياسية (EIA/TIA 568) في حدها الأقصى.



الشكل 7-9 مثال على شبكة التغذية الهاتفية (تقدمة شركة كورنينغ لأنظمة الأسلاك)

ينتج من كل عوامل التوهين المشار إليها فقدٌ مُستقل عن سعة الموجة، أي إن فقد مقداره 3 دسيبل يعني خسارة 50 في المئة من الضوء سواء أكان تضمين هذا الضوء عند 10 هرتز أم 100 ميغاهرتز.

7-5-7 توجيه الكابل

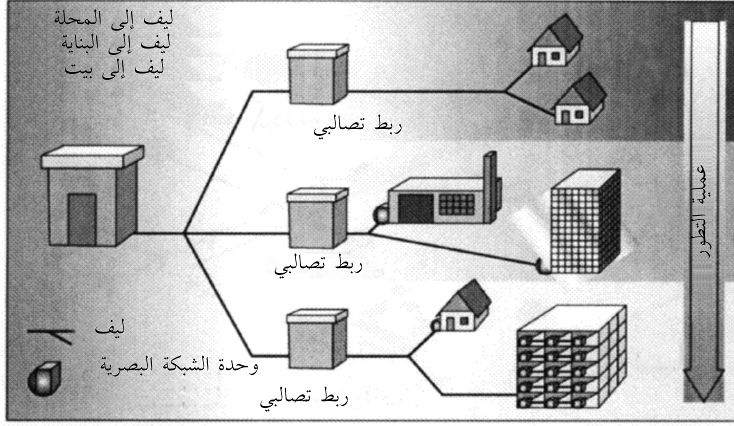
تقسم شبكة الاتصال عادة إلى قسمين، **أولاً** شبكة تغذية هاتفية (Trunk Network)، و**ثانياً** شبكة الولوج (Access Network) كما هو مبين في الشكل 7-9 الذي يظهر شبكة تغذية هاتفية نمطية توصل عدداً من المكاتب المركزية وشبكات ولوج مع بعضها بعضاً.

يمكن إيصال الليف إلى البيوت الخشبية (FTTC)، وإلى المباني (FTTB)، وإلى الشقق (FTTH) باستخدام شبكة تغذية رئيسة تتصل بالمكاتب المركزية وشبكات الولوج التي تتصل بالبيوت، وبالمكاتب، وبالعملاء (الشكل 7-10).

7-5-7-1 المثال الأول: تمديد كابلات المجمع السكني

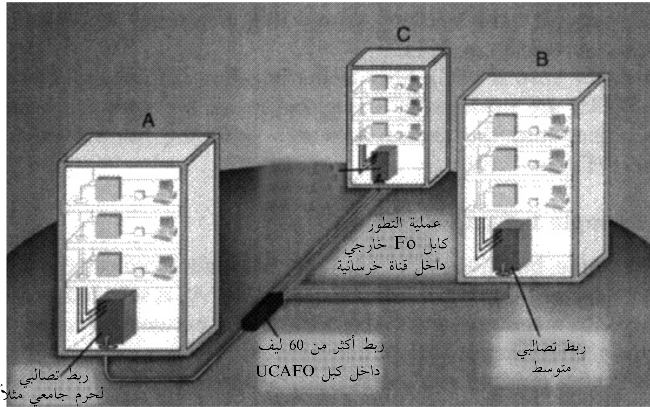
في هذا المثال جرى وصل المباني أ، ب، ج في ما بينها باستعمال كابلات ألياف بصرية. وجرى اختيار مبنى واحد. وهنا جرى اختيار المبنى (أ) باعتباره المبنى الرئيس ليكون نقطة التقاء الشبكة المركزية في الشبكة التي رُبطت بأسلوب نجمي تدرجي (Hierarchical Star) (الشكل 7-11).

يُخرج سلك ليفي من المجمع للاستعمال الخارجي يفرّع إلى فرعين ليتم بذلك وصل المبنيين (ب) و(ج) بالمبنى (أ) نقطة الالتقاء (أو موضع الجهاز متعدد القنوات Cross-Connect).

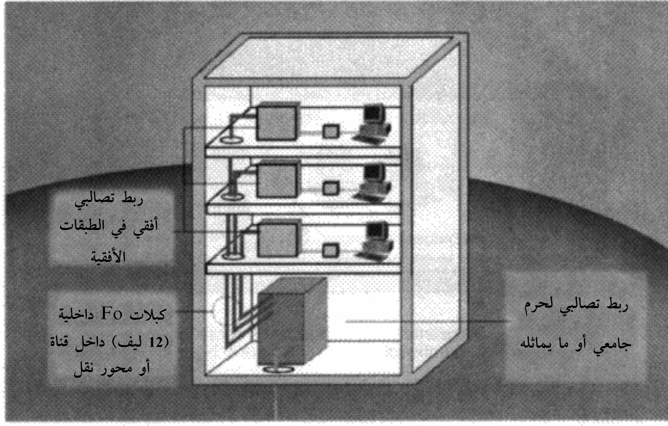


الشكل 7-10 الليف للمُستهلكين (تقدمة شركة كورنينغ لأنظمة الأسلاك)

ويتمَ تحقيق ذلك من خلال ربط الألياف المنفردة عن طريق الدمج (Fusion - Splicing)، وتحفظ الربطات في علب خاصة لحمايتها من العوامل الخارجية. ويُربط من نقطة الربط هذه سلكين بالمبنين (ب) و(ج) مباشرة. وفي هذا المثال توجّه الأسلاك من خلال ممرات للأسلاك موجودة في الخرسانة.



الشكل 7-11 مد الأسلاك في مجمع سكني أو حرم جامعي (تقدمة شركة كورنينغ لأنظمة الأسلاك)



الشكل 7-12 التمديد العمودي للكبلات

7-5-7-2 المثال الثاني: تمديد الكبلات في المباني العالية

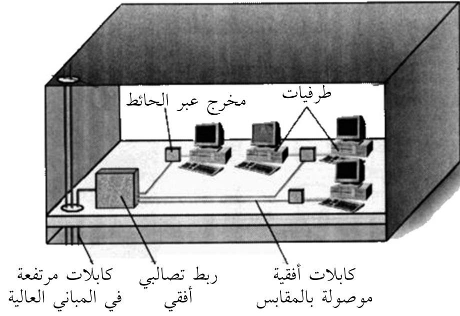
في هذا المثال، يتم وصل أربعة طوابق في ما بينها باستعمال كبل ليف بصري (الشكل 7-12). يستعمل طابق واحد كموقع لوصل متصالب متعدد القنوات وسيط (Intermediate Cross-Connect) (وهو الطابق الأرضي في هذه الحالة). ومن هنا (أي من الطابق الأرضي) توزّع أسلاك الألياف البصرية على شكل نجمي لربط الطوابق الأخرى. وتتصل كل الأسلاك بشكل أفقي متصالب في كل طابق.

7-5-7-3 المثال الثالث: المستوى الأفقي

يجري في هذا المثال ربط الوصلة المتصالبة (Cross-Connect) بمقابس الألياف البصرية المركبة على الحائط بحيث تستعمل لوصل المعدات ببعضها. وفي المستوى الأفقي، فإنه من المهم تأمين المرونة والقدرة على أي توسيع مستقبلي، ويتطلب ذلك تخطيطاً دقيقاً من حيث عدد المقابس التي ستستخدم، وبالتالي الحفاظ على سعة الشبكة. وهناك طريقتان لتحقيق ذلك، وهي التمديد الأفقيّ التقليدي للكابلات، والتمديد الأفقي المركزي للكابلات.

التمديد الأفقي التقليدي للكابلات

يجري في هذا النوع من تمديد الكابلات (الشكل 7-13) ربط الوصل المتصالب الأفقي (Horizontal Cross-Connect) والمقابس بأسلوب نجمي الشكل حيث تتقارب الألياف البصرية على الوصل المتصالب كنقطة انتقال إلى مساحة قناة عمودية (Riser Area). وتسمح الأسلاك الليفية ذات الألياف الأربعة بوصل جهازين طرفيين لكل علبة قابس في الجدار.



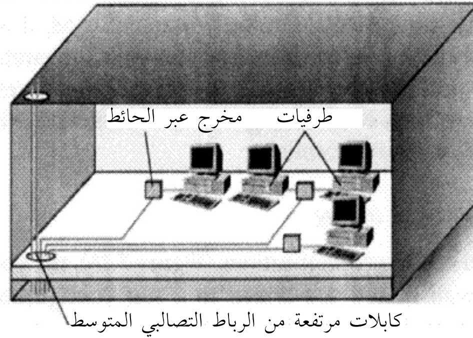
الشكل 7-13 التمديد الأفقي التقليدي للكابلات (تقدمة شركة كورنينغ لأنظمة الأسلاك)

على عكس التوصيلات النحاسية، فإنه من الممكن في حال استعمال الألياف وضع القابس على مسافة أبعد من 100 متر عن وصلة المتصالب الأفقي، ما يمنح مجالاً لتغطية مساحة أكبر وطوابق أكثر.

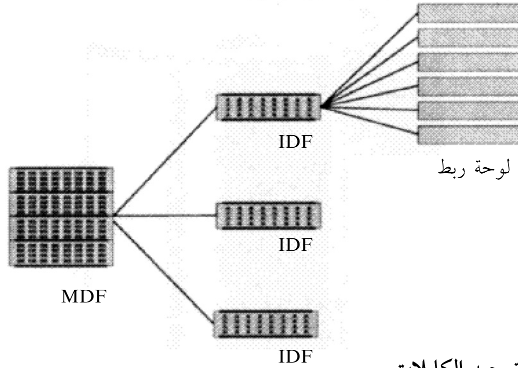
التمديد الأفقي المركزي للكابلات

بالنظر إلى عدم وجود قواعد صارمة تحدد وصل أسلاك الألياف البصرية بالأجهزة، فبالإمكان التخلّي عن الوصل المتصالب الأفقي وتوجيه الأسلاك من الوصل المتصالب الوسيط (Intermediate Cross-Connect) عبر القناة العمودية (Riser) مباشرة إلى الأجهزة (الشكل 7-14).

إن هذا يلغي نقطة الانتقال ويُقلّص من المساحة التي يحتاج إليها الجهاز الأفقي في الطوابق ويبسط من عملية التحكم بالأسلاك وصيانتها.



الشكل 7-14 التمديد الأفقي المركزي للكابلات (تقدمة شركة كورنينغ لأنظمة الأسلاك)



الشكل 7-15 توجيه الكابلات

7-5-8 إطارات التوزيع

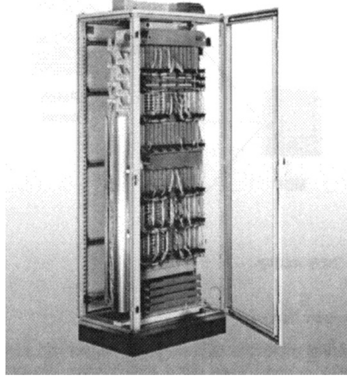
بدلاً من تمرير الأسلاك من نقطة ـ إلى ـ نقطة وإضافة أسلاك أخرى لتشكيل شبكة (Mesh) غير ممكنة التحكم والإدارة، فمن الضروري التخطيط لوضع هيكل ألياف (Backbone) رئيس متعدد القنوات في الشبكة الليفية، ما يعني أنه يجب وضع ترتيب متدرج

للشبكة مؤلف من كابلات ألياف بصرية ولوحات مقابس مؤقتة (تسمى عادة لوحات توزيع Patch Panels). إن هذا الترتيب شبيه من حيث المبدأ بالترتيب النجمي الذي تستعمله شبكات شركات الطيران وشبكات المعلومات. ونبدأ من موقع جهاز الوصل المركزي (Hub)، وعادة ما يكون في موضع مركزي ويسهل الوصول إليه بسهولة. ويمكن من خلال استعمال رقعة توصيل ليفي بسيط التحكم بالنظام (تغير في البرمجة، أو تطويرات وتغييرات. . . إلخ) من دون الحاجة إلى تفكيك شبكة ما وإعادة وصلها من جديد. ويُسمى موقع جهاز الوصل المركزي عادة بإطار التوزيع الرئيس (Main Distribution Frame - MDF) (الشكل 7–15).

وتتوزع من هذه النقطة الأسلاك نحو موقع ثانوي حيث تتصل بألواح التوزيع الوسيطة (Intermediate Distribution Frames - IDF)، ومن ثم من لوحة التوزيع الوسيطة نحو ألواح التحكم في خزانة أجهزة الاتصال، أو في غرفة المعدات.

يسمح هذا الترتيب للمهندس أن يبرمج ويتحكم بالأجهزة بمرونة كافية في قسم واحد فقط من دون الحاجة إلى المساس بالشبكة كلها. كما إن هذا الترتيب (الوصل المركزي على شكل نجمة) هو أكثر فاعلية ومرونة بالنسبة إلى شبكات الكابلات.

إن الشكل 7–16 مثال على خزانة توزيع ألياف بصرية بطول 19 بوصة. ولهذا الجهاز بالتحديد 1440 فتحة قابس (Ports) وهو مناسب للاستعمالات قصيرة المدى (Short Haul) والشبكات المحلية. ويمكن استعمال هذا الجهاز كنقطة انتقال في مناطق الشبكات المحلية، والشبكات المدينية والشبكات ذات المساحة الواسعة.

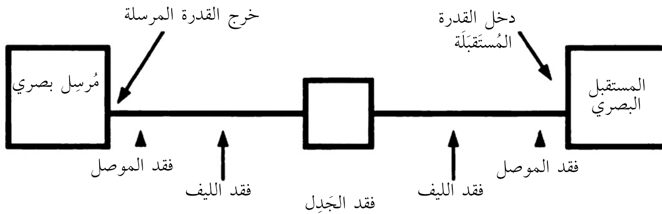


الشكل 7-16 خزانة جهاز التوزيع (تقدمة شركة كورنينغ لأنظمة الأسلاك)

7-6 ميزانية الفقد في المسلك البصري

على المرء عند تصميم نظام الليف البصري أن يأخذ بالحسبان ميزانية الفقد في النظام (System Loss Budget - SLB)، والذي يصف الفرق بالطاقة بين الإشارة المرسلة من جهاز البث والإشارة التي يتلقاها جهاز الاستشعار.

إن كمية الفقد في المسار البصري هي طريقة لتحديد ما إذا كانت الوصلة المركبة تعمل أم لا. طالما أن كمية الفقد القصوى للطاقة لا تتعدى الميزانية، فإن الوصلة ستعمل. ويجب الأخذ بعين الاعتبار عوامل التوهين بما فيها توهين الليف في الكيلومتر الواحد، وكمية الفقد في الموصّل، وكمية الفقد بين الليف وجهاز الاستشعار، وكمية الفقد بين الليف وجهاز الإرسال.



الشكل 7-17 موازنة الفقد في المسلك البصري (Optical Path)

ملاحظة: يجب تأمين مصدر طاقة إضافي تحسباً لتغيرات الحرارة، وتقدم عُمر الصمام الثنائي الباعث للضوء (LED)، والفقد بسبب الإجهاد الميكانيكي في الليف، والفقد الناتج من ثني الليف.

المعلومات الأساسية المطلوبة قبل القيام بعملية حساب موازنة الفقد هي:

- مستوى المُرسل.
- مستوى جهاز الاستقبال.
- طول الوصلة.

العوامل الأخرى التي يجب أخذها بالحسبان هي:

- نوع وطول الليف.
- طول موجة العملية.
- عدد الموصّلات.
- عدد الوصلات.
- الحد (Margin) (قدرة التوسع المستقبلي أو تقليص الوصلة ـ وتكون عادة بين 6 و10 دسيبل).

على سبيل المثال (باستعمال القيم القصوى لـ TIA/EIA 568).

مستوى الإرسال (Tx) = − 13 دسيبل.

مستوى الاستقبال (Rx) = − 42 دسيبل.

الموصّلات = 2، كل موصل ذو فقد 0.75 دسيبل.

الروابط= 2، كل رابط ذو فقد من 0.3 دسيبل.

الحد = 8 دسيبل.

الموازنة = (مستوى الاستقبال − مستوى الإرسال) − (2 × الفقد في الموصلات) − (2 × الفقد بالوصل) − (الفقد في الحافة).

ويُعبِّر عن الناتج بالديسيبل. وعليه فإن:

الموازنة = $(42-13) - (0.75\times 2) - (0.3\times 2) - 8 = 15.9$ دسيبل.

بما أن المجموع الكلي للفقد أقل من حاصل الموازنة، فإن الرابط سيعمل ـ ولكن إلى أي مدى؟ لمعرفة المسافة القصوى لعمل الرابط، يجب معرفة معامل التوهين ومن ثم تقسم الموازنة على المعامل. ولنفترض بأن رابطاً ذا ليف متعدد النمط بمواصفة 125/ 50: حيث إن 50 هي قُطر اللب و125 هو قُطر التصفيح) وطول كيلومتر واحد، وباستعمال مصدر بطول موجة 850 نانومتر وكمية فقد تساوي 3 دسيبل في الكيلومتر الواحد، فإن هذه الوصلة ستعمل لمسافة 5.3 كلم كأقصى حد (أي 15.9/3).

7-7 تقنيات التركيب

يجري اختيار نوع وحجم الكابلات وفق نوع التطبيق والكلفة الإجمالية للنظام. وكما ذُكر مسبقاً، فإن حجم كابلات الألياف البصرية يجري التعبير عنها باستعمال رقمين ويُفصل بينهما بـ «/». إن أكثر حجمين شيوعاً هما 50/125 و62.5/125. وفي كل الحالات، يُمثل الرقم الأول حجم القُطر الخارجي للب (50 و62.5). وأما الرقم الثاني فيمثّل حجم القُطر الخارجي للطبقة الخارجية، ويقاس كلاهما بالميكرون. ويؤمن اختيار السلك المناسب الأداء الأفضل ويترك مجالاً لتوسيع النظام في المستقبل. وأما الاستعمالات النمطية المعتادة لأنواع أسلاك الليف البصري هي:

- الكابل مفرد النمط لخطوط الهاتف الرئيسة بين المدن وداخل المدن.
- الكابل متعدد الأنماط حجم 50/125 ويستعمل داخل المدن وكابلات التلفاز (CATV).
- الكابل متعدد الأنماط حجم 62.5/125 أو 140/ 100 للشبكات المحلية ذات الموجة العريضة (Wideband LAN).

حيثما أمكن يجب تمرير كابل الليف البصري بشكل مستقيم وبأقل انحناء ممكن من طرف إلى طرف، وذلك لإبقاء كمية التوهين منخفضة.

ويمكن إنهاء السلك باستعمال موصّل ميكانيكي أو يجري ربطهما ببعضهما باستعمال إحدى طرق الدمج الكيميائية (المذكورة في الفصل السادس). وفي كل الأحوال، من المهم جداً أن نتذكر بأن توهين الدارة يزداد مع كل نقطة ربط أو عند إضافة موصّل للنظام.

إن التوهين الناتج من الموصّلات الميكانيكية (عادة يكون دسيبل واحد) سببه خطأ في الاصطفاف بين قلب الليف الأول وقلب الليف الثاني. ولذلك، فإن موصّل الليف البصري لا يؤمن فقط طريقة لوصل ليفين ببعضهما، بل كذلك طريقة لصفّ قلبي الليفين مع بعضها بأقرب مسافة ممكنة مع أقل توهين ممكن. ولسوء الحظ، فإن الموصلات الميكانيكية لأسلاك الألياف البصرية لا تتوافر بأحجام قياسية، كما إنها تنتج من مصادر مختلفة، ما يزيد من صعوبة الوصل بين المعدات مختلفة المنشأ. ولهذا السبب أخذت عدة شركات تأمين مهايئات (Adapters)، تسمح بربط الأنواع المختلفة من الموصّلات (Connectors). وكما هو الحال في الموصّلات الميكانيكية، فإن هذه المهايئات تنتج هي أيضاً توهيناً إضافياً (يساوي حوالى دسيبل واحد).

تُصنع أسلاك الألياف البصرية بأشكال مختلفة، ومنها مثلاً، أسلاك للاستعمال الداخلي/ الخارجي غير مدرّعة (Breakout Cable)، والكابلات المدرّعة للاستعمال الخارجي الثقيل (Heavy-Duty External Cables)، وكابلات ذات غشاء وقائي داخلي خشن، وكابلات هوائية (Sky Warp/Sky Span). ولكل من هذه الأسلاك خصائص تركيب معينة يجب اعتمادها.

7-7-1 التخزين والتداول

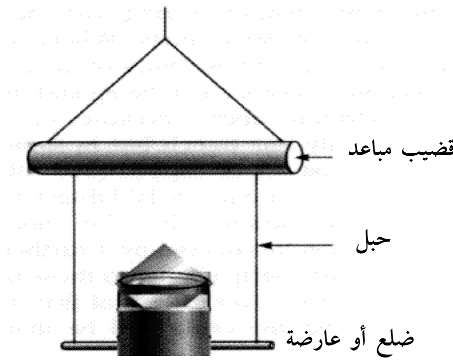
7-7-1-1 تخزين الكابلات

يجب أن تُخزّن براميل الأسلاك (على سطح مستوٍ وصلب) سواءً أكانت معرضة للهواء أم مُغطّاة. ويعتمد ذلك على الموقع و/ أو البيئة.

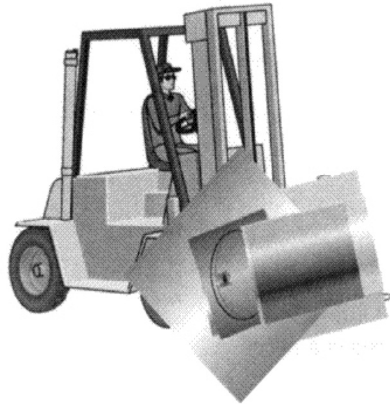
ويجب أن تُثبت لتلافي أي تحرك عفوي. وينبغي ألا توضع أبداً على جنبها أو فوق بعضها.

7-7-1-2 الرفع

عادة ما تستعمل عوارض خشبية أو جانب صلب لحماية الطبقة الخارجية للبرميل الحاوي على الكابلات، وبما أنها ليست ذات قوة لاحتمال ثقل كبير، فيجب أن لا تستعمل لرفع البرميل. وهناك طريقتان تستعملان لهذا الغرض (الشكل 7-18 والشكل 7-19).



الشكل 7-18 باستعمال الونش



الشكل 7-19 باستعمال الرافعة الشوكية

يوضع المرفاع عبر مركز برميل الكابلات، ومن ثم يُعلّق باستعمال الحبل المربوط بقضيبٍ مباعد (Spacer Rod).

يتم إدخال شوكتي الرافعة تحت برميل الكابلات من الجوانب.

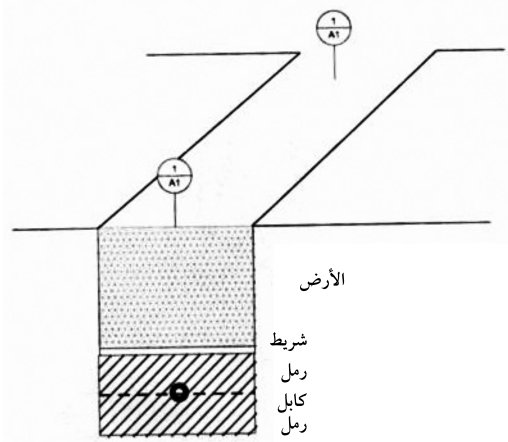
7-7-1-3 الدحرجة

ينبغي ألا تدحرج براميل الكابلات إلا بالاتجاه المشار إليه المرسوم على البرميل، كما يجب أن تُدَحْرَج على سطح سلس ومستوٍ.

7-7-2 تمديد الأسلاك

لا يتعلق الجزء الأكثر كلفة في مدّ كابلات الاتصالات لمسافات طويلة تحت الأرض بكلفة تصنيعها، ولكن بكلفة الحفر والتنقيب وتجديد أسلاك الكابلات. وكلما جرى تركيب كابل تحت الأرض، وجب الأخذ بعين الاعتبار إمكانية إضافة كابلات أخرى في الاتجاه نفسه، أو أن تُمد في الخندق نفسه. ويحتمل أن لا تُمد الكابلات خلال الخندق نفسه فقط، بل وحتى ضمن غمد السلك الليفي نفسه كما هو الحال في ألياف أخرى كالكابل متحد المحور، أو الكابل النحاسي وذلك لصغر حجم الليف البصري.

يوسّد الكابل (المدّرع) عادة في الأرض بشكل مباشر بعد حفر خندق بمواصفات معينة. ويدفن الكابل داخل طبقة من الرمل سماكتها 75 ملم ثم يُغطّى برمال إضافية سماكتها 75 ملم أيضاً. ويوضع فوقها إن أمكن شريط بلاستيكي شبيه بالشريط الذي يُستعمل عند مد الأسلاك النحاسية. ويُملأ الخندق بعدئذ بالتربة، ويعلّم الكابل لتسهيل تحديد موقعه (الشكل 7-20).



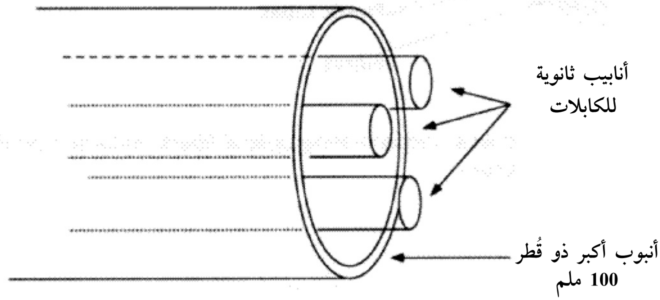
الشكل 7-20 كابل موسد في خندق

إن كانت هناك ضرورة لمدّ أكثر من كابل واحد، فيجب أن تتقاطع الكابلات مع بعضها بعضاً إلا في حالة الضرورة القصوى، ويجب أن تكون موازية لخط امتداد واحد.

وهنالك بالطبع ظروف غير مؤاتية تحيق بعملية توسيد الألياف البصرية تحت الأرض، وأكثرها جلاءً تعرضها للأضرار بسبب القوارض. ويمكن التغلّب على هذه المشكلة باستعمال شريط معدني قوي يغلف السلك، غير أن هذا مكلف مادياً، علاوة على أنه يلغي مبدأ السلك غير المعدني. وتتعلق الطريقة الأخرى بتغليف السلك بزجاج مطعم بالراتنج (Resin)، ويزيد هذا من الكلفة أيضاً.

7-7-1-2 التمديد داخل أنابيب مخصصة للكابلات

يجب تركيب كابل الليف البصري بقدر الإمكان، وهو داخل الأنبوب الخاص به، عندما يتطلب الأمر مدّ أكثر من أنبوب. وعندها يمكن لهذه الأنابيب الثانوية الصغيرة أن تتشارك في ما بينها بأنبوب أكبر (يكون قطره حوالى 100 ملم). (الشكل 7-21).



الشكل 7–21 كابلات ألياف بصرية داخل أنبوب واحد

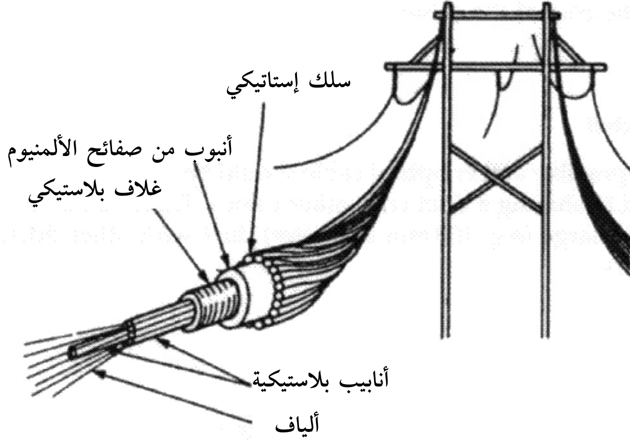
من المستحسن عندما يتطلب الأمر سحب الأنبوب بقوة أن يجري السحب من سلك يحتوي على ألياف إضافية للاستعمال المستقبلي، وذلك لتلافي العودة إلى السحب نفسه.

ملاحظة: بما أن الكابل يكون ملفوفاً بعد إزالته من البرميل الحاوي، فإن وضعه داخل الأنبوب مع الكابلات الأخرى قد يؤدي إلى التفافه حول هذه الكابلات وتشابكه معها مسبباً أضراراً للغلاف الخارجي للكابل.

7–7–2–2 استعمال الأبراج الكهربائية

تتم الطريقة الأخرى لتوزيع الكابل عبر المناطق غير المأهولة بالسكان باستعمال أبراج خطوط تيار كهربائي عالي التوتر لحمل الأسلاك الليفية، كما هو ظاهر في الشكل 7–22.

وفي هذه الطريقة، يدغم حبل الليف البصري غير المعدني في موصّل طوري (Phase Conductor) أو أسلاك أرضية. ولا تضيف الألياف البصرية بسبب خفة وزنها إلا القليل من الثقل على الأبراج.



الشكل 7-22 أسلاك أرضية، وألياف بصرية مدغمة مُركبة على أبراج الخطوط الكهربائية

7-7-2-3 مسالك الكابلات ومساحات الإنهاء

يجب أن يكون تصميم مسالك الكابلات (أي الخنادق والممرات، والفتحات العمودية)، ومساحات الإنهاء (مثل خزانات تليكوم تصالبية الوصلة، ومخرجات منطقة عمل تليكوم) مطابقة لمعايير البناء المتعارف عليها عالمياً (EIA/TIA 569) ولتعليمات الممارسة (Code of Practice) في بناء مسالك الاتصالات السلكية واللاسلكية، وتعليمات جمعية صناعة الألياف (Fiber Industry Association - FIA) كذلك.

7-7-2-4 كمية جهد السحب الأقصى الموصى به

يجري تحديد هذا من قبل المصنّع، وينبغي ألا يتم تخطي الحد الأقصى. ومن الممكن أن يختلف هذا الجهد عند نقاط مختلفة عند التوجيه. ويجب أخذ الحذر والالتزام بالإرشادات التي يُرفقها المصنّع.

الجدول 7-4 مواصفات نموذجية لنصف قطر الانحناء

التطبيق	عدد الألياف	القُطر الأدنى للالتواء			
		مُحمّل		غير مُحمّل	
		cm	in	cm	in
ما بين المباني	84 – 2	22.5	8.9	15.0	5.9
هيكل الألياف	192 – 86	25.0	9.9	20.0	7.0
داخل المبنى	12 – 2	10.5	4.1	7.0	2.8
هيكل الألياف	24 – 14	15.9	6.3	10.6	4.2
	48 – 26	26.7	10.5	17.8	7.0
	72 – 48	30.4	12.0	20.3	8.0
التمديد الأفقي للكابلات	2	8.7	3.4	5.8	2.3
	ليف + زوج من سلكين ملتويين غير مدرّعين (Fiber + UTP)	8.7	3.4	–	–
	ليف + زوج من سلكين ملتويين مدرّعين (Fiber + STP)	12.7	4.8	–	–

ملاحظة: عند سحب الأسلاك حول منحنى (45 درجة أو أكثر)، يجب استعمال عجلة دوّارة لتلافي الضرر والإجهاد على الكابل. ويوصي المصنّع عادة بمقدار حد أدنى للثني وفقاً للجدول 7-4.

7-7-2-5 الحد الأقصى للارتفاع العمودي

يوجد لأسلاك الألياف البصرية كافة حد أقصى للارتفاع (الجدول 5,7)، ويُعبّر عن هذا الحد بدّالة وزن السلك وقوة الشد، وهي المسافة العمودية القصوى التي يمكن أن يركب بها الليف من دون الحاجة إلى نقاط دعم وسيطة.

يجب أخذ الآتي بعين الاعتبار:

- يجب أن تثبت الأسلاك العمودية في أعلى مجرى الخندق أو الممر.
- يجب أن تكون نقطة التثبيت ضمن الحد الأدنى لنصف قُطر الثني عندما يجري تأمين تثبيت السلك.
- يجب أن يكون هناك دعم ماسك للسلك في الممرات العمودية كلما تم الوصول إلى الحد الأقصى من الارتفاع العمودي للسلك.

7-7-3 تركيب الألياف البصرية في المباني

من محاسن النظام البصري للاتصالات ولا سيما في التطبيقات داخل المباني أنها توفّر سعة أكثر للتحكم بالبيانات، والمناعة ضد الضوضاء، والعزل الكهربائي، والحماية المحسنة للمعلومات. وقد تحول كثير من مشاريع البنايات الكبيرة إلى استعمال تركيبات الألياف البصرية.

إن عملية تركيب نظام الألياف البصرية شبيهة من جميع النواحي بعملية تركيب السلك متحد المحور أو السلك المزدوج الملتوي (Twisted-Pair). وعلى الرغم من الفهم الخاطىء الشائع، فإنه من السهل جداً التعامل مع الألياف البصرية، فهي لديها قوة شد ممتازة على الرغم من أنها ألياف زجاجية. لا يسهل صغر حجم الألياف عملية السحب عبر الفتحات فقط، بل مقاومة للقطع أو التحطم أيضاً. وتجعل مرونتها التعامل معها سهلاً.

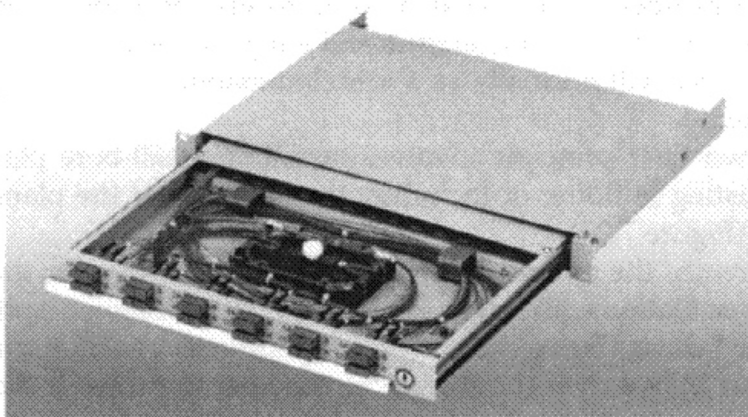
الجدول 7-5 الارتفاع العمودي الأقصى النمطي

التطبيق	عدد الألياف	الحد الأقصى للارتفاع العمودي	
		متر (m)	قدم (Ft)
		184	640
ما بين المباني	2 – 84	69	336
هيكل الألياف	86 – 192	500	1640
داخل المبنى	2 – 12	500	1640
هيكل الألياف	14 – 24	500	1640
	26 – 48	500	1640
	48 – 72	500	1640
التمديد الأفقي	2	500	1640
	ليف + زوج من سلكين ملتويين غير مدرّعين (UTP + Fiber)	40	130
	ليف + زوج من سلكين ملتويين مدرّعين (STP + Fiber)	40	130

7-7-3-1 لوحات الوصل

يجري تصنيع هذه اللوحات (الشكل 7-23) عادة بحيث يَكون عدد الألياف فيها من مضاعفات العدد 12، وقد بينت الخبرة العملية أنه من الأفضل أن نزيد من عدد الألياف دائماً، في الأقل، بحوالى ضعف العدد الموجود. وليس من الضروري استعمالها في اللحظة الأولى، ولكنه من الأفضل تركيب ألياف إضافية للاستخدام المستقبلي بدلاً من إعادة التفكيك والتركيب من جديد. إن إضافة ألياف إضافية هي أقل كلفة مقارنة بكلفة تفكيك الشبكة وإعادة تركيب الأسلاك مجدداً.

وبما أن معظم الأنظمة التجارية الصغيرة تستعمل ليفاً واحداً لكل دارة فيديو، فإنه من المهم جداً بالنسبة إلى الشبكات الكبيرة أن تضاعف عدد الألياف أكثر من عدد الألياف التي تستعمل في الشبكات المحلية. وبات من الطبيعي أن تجد مجمعات ومنشآت شبكات فيديو كبيرة، قد يصل عدد كابلات الألياف فيها والتي تربط ما بين المباني إلى حوالى 144 ليفاً. وربما يصل إلى 24 إلى 36 ليفاً لكل طابق.

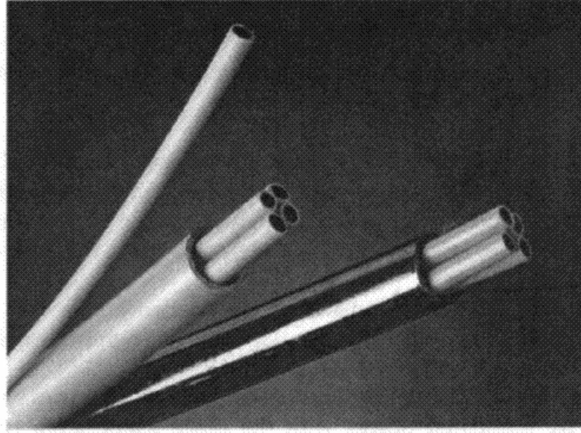


الشكل 7-23 لوحة وصل وسطح ربط (تقدمة شركة كورنينغ لأنظمة الأسلاك)

7-7-4 الليف البصري المُدخل بضغط الهواء

جرى تصنيع هذا الليف وتصوّره من قبل شركة BT. كما إن مبدأ الليف المدخل بضغط الهواء طورته أكثر من شركة من شركات التكنولوجيا العالمية الرائدة، ومنها شركة آي. سي. آي وشركة الألياف البصرية (وهي عبارة عن شراكة بين شركة كورنينغ و(BICC). ويمكن تركيب العيّنة التحتية للشبكة كجزء من نظام اتصال ممتاز الأداء، أو كأنابيب مصغّرة مُبطّنة لبناء نظام أسلاك متين كطريقة لتلبية الاحتياجات المتغيرة للاتصالات.

يتراوح قطر الأنابيب المصغرة (الشكل 7-24) عادة بين 5 أو 8 ملم، ولها طبقة بولي إثيلين محملة داخلية قليلة الاحتكاك، ومقاومة للشحنات الساكنة.



الشكل 7-24 يجري إدخال الليف في الأنبوب المصغّر من خلال ضغط الهواء (تقدمة شركة Brand-Rex).

إن الليف البصري المستعمل في هذا النظام مطلي بمواد خاصة لتأمين معامل احتكاك منخفض، ومقاومة منخفضة للشحنات الساكنة، وعامل سحب ديناميكي هوائي (Aerodynamic) عالٍ. كما إن الطبقة الخارجية مصممة لمقاومة الاشتعال.

ويتضمن مبدأ الليف المُدخل عبر الضغط تركيب أنابيب بلاستيكية قياسها نصف بوصة في مبنى أو وضعها كجزء من مخطط بناء مبنى جديد (الشكل 7-25).

ويمكن بالتالي إضافة الكابل عندما تقتضي الحاجة استعمال أدوات تركيب من أجل إدخال الألياف البصرية المصممة خصيصاً في الأنبوب من خلال ضغط الهواء (الشكل 7-26). وتولّد هذه المعدات هواءً مضغوطاً يُستعمل لتمرير الليف داخل الأنابيب.

ومن ثم يجري إنهاء الألياف التي جرى تركيبها (من خلال استعمال الطرق التي سبق ذكرها)، ويجري اختبار الليف باستعمال مقياس الطاقة ومصادر باعثة للضوء أو الجهاز البصري لقياس انعكاسية المجال الزمني (OTDRs). إن الألياف المُدخلة باستعمال ضغط الهواء مناسبة للشبكات المحلية، إذ إن ممرات الأسلاك نادراً ما تتخطى حدود الـ 1000 متر، كما إنها مناسبة للوصل ما بين المباني.

ملاحظة: يمكن استعمال طريقة ضغط الليف في معظم الحالات التي يجري استعمال الألياف البصرية فيها. كما إن أنابيب الكابلات المضادة للماء والأشعة فوق البنفسجية متوافرة أيضاً.

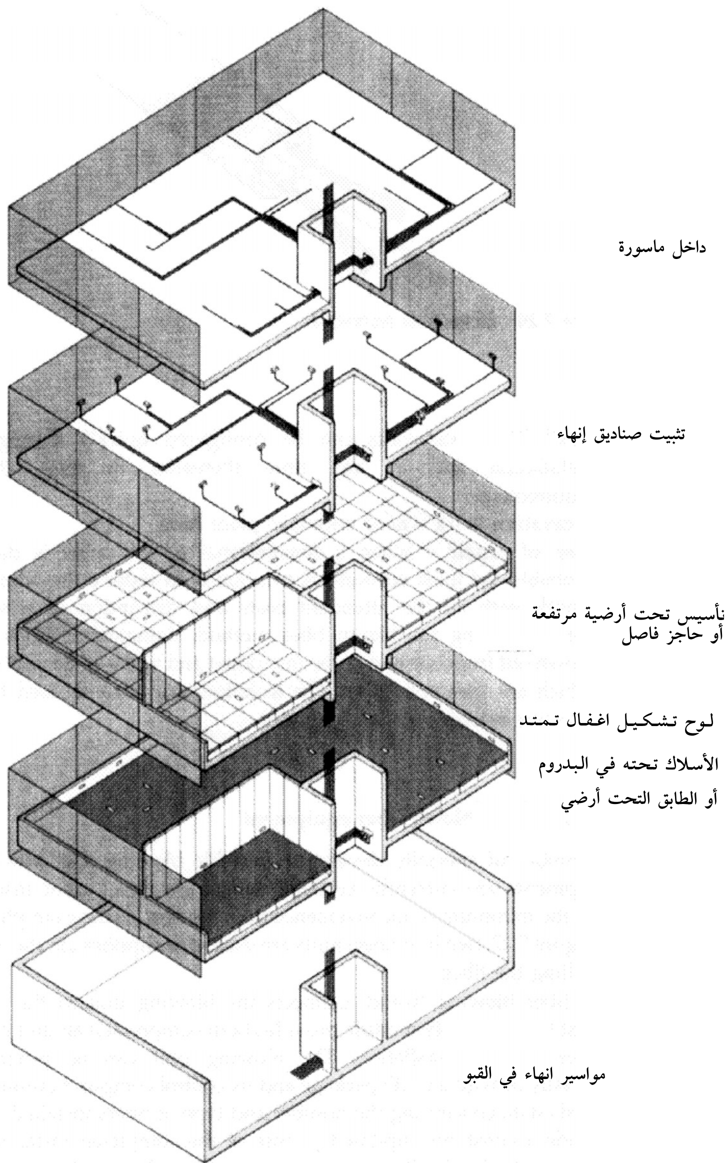
7-7-4-1 محاسن نظام الليف البصري المدخل بضغط الهواء

يقدم هذا النظام محاسن مميزة في أنظمة الشبكات التقليدية، ومنها:

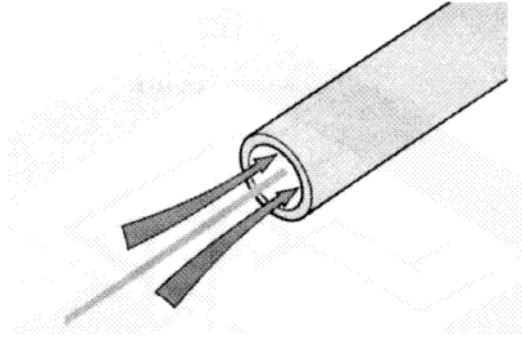
- كلفة منخفضة (Low Initial Cost): الكلفة الوحيدة هي كلفة تركيب الأنابيب المصغرة التي يمكن أن تبقى مخزنة في المستودع حتى إيجاد زبون لها. إن كلفة الألياف التي يجري إدخالها من خلال ضغط الهواء هي كلفة الألياف البصرية العادية نفسها. إلا أن كلفة السنة الأولى تكون كبيرة.

- للتطوير المستقبلي (Future Proofing): عندما يجري تركيب هذا النظام، فمن الممكن تطوير الشبكة في حال استعملت تكنولوجيا ألياف مطورة وبسهولة تامة.

- سهولة التطوير (Ease of Upgrade): من الممكن عند استعمال هذا النظام تركيب ألياف إضافية في المكاتب المكتظة ومن دون أن يشعر المستخدمون بعملية التطوير.



الشكل 7-25 مثال على بنية كاملة لنظام مد الأسلاك (تقدمة شركة Brand-Rex)



الشكل 7-26 تقنية الليف المدخل بضغط الهواء

- المرونة (Flexibility): يمكن برمجة الشبكة بسرعة خلال التركيب الأولي وبعد التركيب لتفي بالمتطلبات المتغيرة.

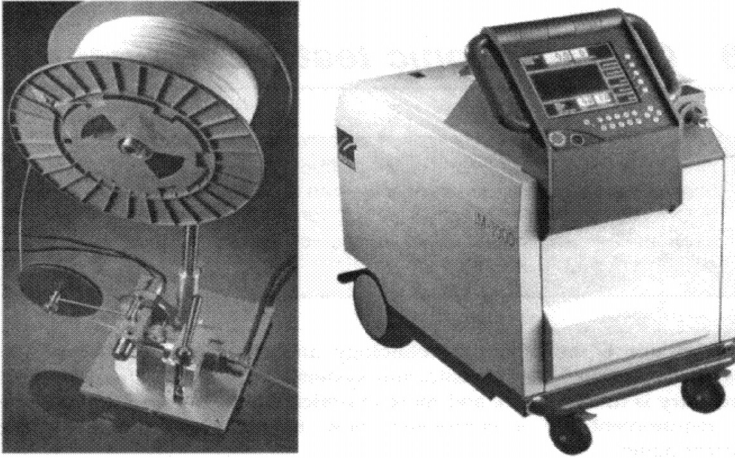
- أعمال الحفر (Excavation Work): وتجري مرة واحدة فقط.

- سهولة التصليح (Ease of Repair): عندما يتضرر كابل بصري، فإنه من الأجدى اقتصادياً استبدال الكابل بأكمله مع كل ما يتضمنه ذلك من كلفة مرافقة وتعطل خدمات. إلا أنه، وعلى العكس، عند استعمال الليف المدخل بواسطة ضغط الهواء، فمن الممكن، باستعمال ضغط الهواء، إخراج القسم المتضرر من السلك واستبداله بوصلة جديدة. كما ويمكن استعمال هذه التقنية لتطوير نظام الشبكة بشكل غير مكلف.

7-7-4-2 المعدات المستعملة لليف المُدخَل بضغط الهواء

إن عدداً من معدات ضخ الهواء المحمولة والمطورة ومعدات تسجيل البيانات متوافرة حالياً، ما يضمن تركيباً فاعلاً للأسلاك بوقت قصير. في المثال المبين في الشكل 7-27، يجري استعمال جهازين بمستوى تشويش منخفض، يقوم أحدهما بتأمين الهواء المضغوط والآخر بتركيب الليف.

تقوم عصا الضخ بوصل جهاز ضغط الهواء بالشبكة في الوقت الذي يقوم فيه جهاز تزويد الهواء بتأمين الهواء المضغوط والطاقة الكهربائية اللازمة. ويمكن برمجة جهاز ضخ الهواء من خلال جهاز مبرمج مسبقاً (CAD Package)، ويسجل كومبيوتر التحكّم بالبيانات الخاصة بعدد الألياف المركبة ونوعها، وذلك لتحديث الصورة عن كل مهمة تُنجز، ومن ناحية أخرى فإن البرامج المدخلة في الجهاز مبرمجة لمنع إدخال ليف ما في المكان الخطأ. كما يمكن إعداد تسجيل إلكتروني يوفر للمستهلك المعلومات اللازمة عن المهمة التي أُنجزت إما على قرص مضغوط، أو تُطبع على الورق.



الشكل 7-27 نظام البلوليت (Blolite) (تقدمة شركة Brand-Rex)

تحدثنا في هذا الفصل عن الأسلاك الليفية البصرية والأجهزة الإلكترونية البصرية وكيفية استعمالها في شبكات الاتصال المحلية، والمدينية، وللمسافات البعيدة. كما ورأينا كيف تصمم أنظمة أسلاك الألياف البصرية والتقنيات المستعملة لتركيبها. والآن نحن بحاجة إلى النظر في تقنيات التركيب وخدمات الفحص وبعض أدوات الفحص المتوافرة حالياً.

الفصل الثامن

تقنيات الفحص الإلكتروبصرية

> بعد أن ناقشنا طرق تركيب أسلاك الليف البصري وتجميعها، حان الوقت لكي نُلقي نظرة على كيفية ضمان قدرتها على تقديم الخدمات. ولذلك سنُلقي الضوء في هذا الفصل على بعض تقنيات التركيب وخدمات الفحص وعلى بعض المعدات المتوافرة للفحص.

في عصر تكنولوجيا المعلومات هذا، وفي عصر الطلب على منظومات الاتصالات ذات الموجة العريضة عالية السعة، فمن غير المستغرب أن تتحول صناعة الاتصالات أكثر فأكثر نحو الألياف البصرية، غير أن هذا التحوّل رافقته متطلبات من ناحية معايير الاتصالات البصرية هذه.

كما هو الحال مع منظومات الاتصالات الأخرى، فإن هناك نطاقين متميزين منفصلين يتطلب كل واحد منهما اختبارات على المنتوجات واختبارات ميدانية (أي في أثناء الخدمة). وعلى الرغم من أن متطلبات الفحص الأساسية المرافقة لمنظومات الليف البصري معروفة جيداً، إلا أن تنوّع آلات الفحص المتوافرة حالياً كبير جداً. ولذلك بات ضرورياً لمهندسي اليوم أن يمتلكوا المعرفة الواضحة الدقيقة بما يقومون بفحصه بالضبط، والسبب الذي يُحتم عليهم إجراء الفحص، وكيف يجب أن يجري الفحص. ويعتمد هذا كثيراً على ما إذا كانت الجهة تمثّل مصنِّعاً، أم مجهّزاً، أم مستخدماً.

8-1 فحص الألياف البصرية

يجب على المصنّع في أثناء الإنتاج أن يفحص الألياف باستمرار للتأكد من أن مزاياها تطابق المعايير والمواصفات التي يطلبها المستهلك. وهذه الفحوصات تشمل:

- قُطر اللب؛
- قُطر التصفيح؛
- الفتحة الرقمية؛
- التوهين؛
- قيمة معامل الانكسار؛
- الجهد الناتج من الشد.

أما الاختبارات الأخرى فهي ضرورية لضمان الخواص الميكانيكية (مثل مقاومة الصدمة، أو قدرة تحمُل الشد، أو مقاومة الكسر) وستؤكد قابلية السلك أو الكابل على تحمل الإجهاد الفيزيائي والميكانيكي. وأما الفحوصات البيئية فستقوّم التغيرات في التوهين في درجات حرارة عالية، أو في أثناء تغييرات درجة الحرارة والرطوبة.

وتُجرى الفحوصات كذلك خلال وبعد تركيب الروابط (Links) لتلائم متطلبات الأداء. وأما نتائج الفحص فتساعد على قياس نوعية المنظومة وتشخيص أخطائها، وضمان ديمومتها. كما ستقلل من إجراءات الصيانة ومن الانقطاعات في تدفق المعلومات وإنشاء منظومة يُعتمد عليها (وهذا مهم جداً عندما يجري تركيب المنظومات من قبل متعهدين خارجيين).

ويشمل فحص الخواص البصرية للسلك أو الكابل ميزتين من المزايا القابلة للقياس، وهي التوهين وسعة الموجة.

التوهين: يُعرّف كفقد في الطاقة البصرية، ويقاس بالدسيبل، وهو العامل الأولي الذي يحدد نوعية معظم المنظومات، ويتكوّن من كمية الفقد الناتج في الوصلة بسبب الخواص الفيزيائية للمركبات غير الفاعلة، والموصّلات، والمقرنات، والوصلات، والليف، وأجهزة التحويل. ويمكن أن يتولّد الفَقْد الإضافي عن طريق التركيب السيىء (مثلاً، الإنحناءات الشديدة والإجهاد الفائض على الليف في أثناء التركيب).

ولذلك، يجب أن يجري الفحص بعد عملية التركيب لضمان عدم وجود فَقْدٍ إضافي أُضيفَ إلى الرابط، ولضمان أن كمية التوهين هي ضمن الحدود التي يسمح بها المستهلك. وتشمل المعدات المطلوبة لإنجاز فحص المنظومة أجهزة قياس الطاقة والأجهزة البصرية لقياس انعكاسية المجال الزمني.

عرض الموجة: هي السعة القصوى للخط في شبكة الاتصالات الإلكترونية، وتقاس بالبت في الثانية، أو البايت في الثانية (Bytes/s)، أو الهيرتز (Hertz) (الدورات في الثانية). وتحدد السعة الموجية مقدار المعلومات الرقمية التي يمكن للشبكة حملها في الفترات التي تصل فيها كمية المستخدمين إلى أوجّها، ويمكن للسعة الموجية كذلك أن تحدد سرعة البث، خصوصاً عند إرسال ملفات بيانية كبيرة الحجم مثل الملفات التي تتضمن رسومات، أو أصواتاً، أو لقطات فيديو.

ويقيس عرض الموجة كذلك سعة نقل المعلومات في منظومة الأسلاك. وتعتمد السعة على مزايا الليف، وتتغير بشكل عكسي مع طول المنظومة (أي إن السعة الموجية في الليف الطويل أقل من السعة في الليف القصير إذا كانت مواصفات السعة الموجية في كل منهما متساوية من ناحية قوة الميغاهرتز في الكيلومتر الواحد (MHz/ km).

ملاحظة: يتطلب فحص سعة الموجة معدات معقدة. كما إنه من غير الشائع أن يجرى فحص ميداني كهذا.

8-1-1 فحص الإنتاج

إن الهدف من فحص الإنتاج هو ضمان تزويد المستخدم بمنتوج نهائي مستقر من ناحية الأداء والديمومة، إذ إن تصنيع الألياف البصرية هو علم دقيق. والحال هي نفسها في أي عملية تصنيع بالجملة، فإن فحص الإنتاج ضروري لضمان انتظام الصُنع، ووسيلة ضمان أن مواصفات المادة، عند كل مرحلة من عملية التصنيع، تقع ضمن الجودة المطلوبة. ويشمل فحص الإنتاج عادةً ما يأتي:

- قياس قيمة معامل الانكسار، قبل طلاء الليف بمادة الأكريليك؛
- قياس استجابة الطيف بعد الطلاء: التوهين مقابل التردد؛
- فحص هندسة الليف، وتشمل مركزية اللب وسماكة الطلاء؛
- قياس درجة انعكاس الأشعة للبحث عن الكسور والعيوب الأخرى في المنتوج النهائي.

يتطلب إجراء سلسلة كهذه من الفحوصات استخدام عدة آلات قياس معقدة. كما يتطلب كذلك فريق عمل مدرب جيداً. ويكلّف ذلك ثمناً باهظاً، وعادة فإن المصنّعين يخصصون في الأقل 30 في المئة من ميزانية التصنيع على فحص المنتوجات. ولذلك فإن فحص الإنتاج، يمثل جزءاً كبيراً من كلفة المنتوج النهائي.

8-1-2 الفحص عند التركيب

إن أهم نتائج الفحص هي النتائج التي تظهر في فحص التوهين من طرف - إلى طرف، وهو عبارة عن مقدار الفقد في قيمة القدرة

بين وحدة نهاية وأخرى. وتعتمد قيم الفَقْد المسموح بها على معدات الإرسال والاستقبال وتصميم المنظومة (مثلاً إذا كانت منظومة تماثلية، أو منظومة رقمية، أو على الشبكات المحلية للاتصال (Local Area Network)، أو منظومات أخرى). ولكي تعمل المنظومة بصورة صحيحة، فإن أرقام الفقد المستحصلة يجب أن تكون دائماً أقل من ميزانية الفقد للمسار البصري (انظر فصل 7) المحسوبة في التصميم.

ملاحظة: يجب أن تُؤخذ القياسات من لوحة تحكّم إلى لوحة أخرى لضمان أن كل أجزاء المنظومة قد شُملت في هذه القياسات.

يقيس فحص التوهين القيمة الكلية لفَقْد القدرة عند المنظومة ولمسافات قصيرة يمكن فيها استخدام مقياس قدرة بصري بسيط (Optical Power Meter - OPM). وأما في الأسلاك التي تمتد إلى مسافة حوالى 50 متراً، فإن المصنّعين يفضلون استخدام جهاز لقياس انعكاس مجال الزمن البصري.

8-1-3 فحص المنظومة ميدانياً أثناء الخدمة

عندما يريد المهندس أن يشتري الآلات المناسبة، فإن عليه أن يأخذ بالحسبان ما يأتي:

● المجال المسموح به لاستعمال موصّلات الليف، هل تتوافر المهايئات (Adaptors) الكافية؟ هل هي سهلة التركيب؟ هل يمكن تركيب الليف وحده في المعدات؟... إلخ.

● إمكانية الحاجة إلى إعادة تغيير معدات الفحص بعد تغير الموصّلات أو المهايئات، سواء توفرت الكاشفات لكل الأطوال الموجية (أي 850 نانومتر، و1300 نانومتر، و1550 نانومتر) أم لا.

- إذا ما كانت المعدات محمولة (أي تعمل بالبطارية).

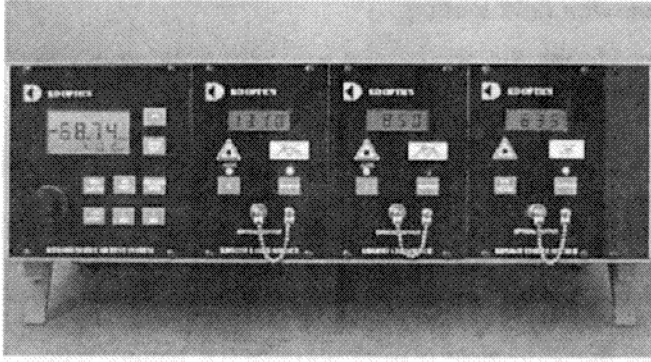
هناك خاصية أخرى مهمة للمنظومة غير الخاصية التي تتعلق بسعة الموجة التي يجب أن تؤخذ بالاعتبار عند هندسة وصيانة منظومات كابلات الليف البصري، وهي كمية الفقد بسبب توصيلات الليف، والموصَلات، والوصلات، وبالطبع، الليف نفسه. وبالإضافة إلى المدى الطبيعي للأوسيلوسكوبات (أجهزة قياس الذبذبات)، ولجهاز قياس القدرة، ولمعدات الفحص الأخرى التي يحتاج إليها عمّال الصيانة أو المهندسون الميدانيون عادة، فهناك حاجة إضافية تتمثل بحمل معدات إضافية مصممة خصيصاً لقياس الضوء.

8-2 أمثلة عن معدات الفحص

كما هو ظاهر فإن هناك عدداً من المشاكل المحددة التي تصاحب الألياف البصرية بشكل مباشر - خصوصاً في ما يتعلق بالصدمة الميكانيكية، والألتواء الزائد والعزل الهوائي غير المتقن - والتي لا تتواجد عادة في الأسلاك النحاسية التقليدية. فلذلك، كان من الضروري تطوير مجموعة جديدة من المختبرات وآلات الفحص المحمولة، وبسبب التعقيدات المتنوعة لأخذ القياس المطلوب، فإن ذلك يتطلب عادة نوعاً جديداً من تقنيات القياس.

يجب أن يؤخذ عامل آخر مهم بالاعتبار هو أهمية ضمان أن تكون معدات الفحص المستخدمة في منظومات الألياف البصرية عالية الدقة. وللحصول على مستوى كهذا من الدقة فإنه من الضروري أن تخضع هذه الآلات للمعايرة بانتظام بالاعتماد على معايير معينة، وضبط وتحديد الفروقات في دقتها. وهذا مكلف عادةً، غير أن الكلفة قد تصبح أقل مع تقدم التكنولوجيا.

في الفقرات الآتية سنتطرق إلى ذكر بعض الأنواع المتوافرة من المعدات التي يستعملها المهندسون في الزمن الراهن.



الشكل 8-1 جهاز من نوع كي دي أكس 1000(KDX1000) للفحص (تقدمة شركة كي. دي. للبصريات)

8-2-1 معدات فحص الإنتاج

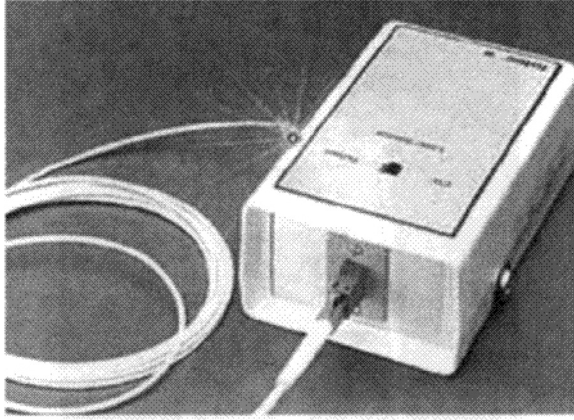
كما شرحنا سابقاً، هناك حاجة إلى أداة في أثناء عملية التصنيع لفحص كمية الفقد بسبب إدخال الليف والفقد الناتج من سحبه باستخدام مصدر ضوئي مثل الصمام الثنائي الباعث للضوء (LED) أو الليزر. ويعتبر جهاز منظومة الفحص من شركة كي. دي. للبصريات (KDX1000) الظاهر في الشكل 8-1، نموذجاً عن المعدات المناسبة لكلا الاستعمالات المخبرية، وفي فحص الإنتاج. إن لهذا الجهاز واجهة يمكن من خلالها التحكم بعداد قياس القدرة، وسعة الليف متعدد الأنماط، والألياف مفردة النمط والمصادر الضوئية.

تعمل برمجيات الفحص تلقائياً، بحيث لا يحتاج المشغل إلى أن يقوم بالعمل بنفسه. ويجري تخزين النتائج والفحوصات في قاعدة بيانات تابعة للشركة.

8-2-2 المصدر الضوئي الليزري

كانت معظم ما يسمّى بالمصادر الضوئية الليزرية المحمولة/ أو أجهزة تحديد العيوب التي توافرت قبل عام 1988 عبارة عن معدات ذات

بُنْيَة مُحكمة ضد الماء، وتزن حوالى خمسة كيلوغرامات، وتعمل بواسطة بطارية مصنوعة من الرصاص والحِمض قابلة لإعادة الشحن والقادرة على أن تعمل لأكثر من 20 ساعة عمل. إلا أن شركات التصنيع أدركت بسرعة أن هناك حاجة إلى أداة أقل وزناً ومقاومة للماء، وذات أطوال متعددة الموجات، وتتحمل الصدمات، وبسعر معقول. ولحسن الحظ هناك الآن كثير من المصادر الضوئية عالية الجودة متوافرة في السوق ومناسبة لعملية الصيانة الميدانية وعملية التركيب.



الشكل 8-2 جهاز فوتك أس 665 (Fotec S665) لتحديد العيوب عيانياً (تقدمة شركة فوتك)

إن استعمال جهاز محدّد العيوب (Fault Locator) (شكل 2,8) هي طريقة بسيطة ورخيصة لفحص الألياف متعددة الأنماط والألياف مفردة النمط لتحديد الكسور أو التوصيلات السيئة فيها. وتعمل هذه الأجهزة باستخدام الصمام الثنائي الليزري لبث الضوء في الليف لرؤية ما إذا كان هناك توهج (في حال وجود ضرر ما في الليف) خلال العازل و/ أو غلاف الليف. إن جهاز فحص العيوب هذا مناسب للاستعمال مع جهاز قياس الانعكاس لمجال الزمن البصري وعادة تأتي معه مجموعة متنوعة من الموصّلات.

إن تشغيل هذه المعدات لقياس كمية الفقْد هي ميزة إضافية أيضاً، ويمكن القيام بذلك من خلال وصل طرف الليف بمصدر ضوئي وقياس كمية شدّة الضوء (وبالتالي قياس كمية فقد الطاقة في المنظومة الليفية) عند الطرف الآخر من الليف بالاستعانة بأداة لقياس القدرة (Power Meter).

8-2-3 جهاز قياس القدرة

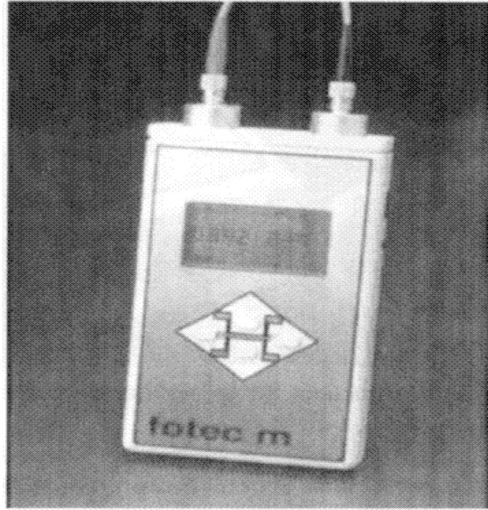
يُستخدم هذا الجهاز لقياس القدرة وكمية الفَقْد فيها والفَقْد البصري خلال عملية الفحص في أثناء التركيب أو في أثناء الخدمات الميدانية لشبكات الألياف البصرية. وعادة ما تحتوي هذه الأجهزة (مثل فوتك دي أم 3000 [FOTEC DM3000] والظاهر في الشكل 8-3) على كواشف ثنائية من السليكون والجرمانيوم توفّر استعمال مجال طيفي يتراوح بين 400 و1800 نانومتر، ومجال حركي بمقدار 90 دسيبل، وتزوّدنا بأداة لقياس وصلتين في الوقت نفسه (أي إن إحدى الوصلتين ستقاس بالاعتماد على الوصلة الأخرى التي تعمل كمعيار).

إن الميزات الأخرى مثل واجهة المستخدم للتحكم بالجهاز (Menu-Driven User Interface)، والعرض وفق المعايير التي يطلبها المستهلك، والميزة التي تتيح للمستخدم اختيار أطوال الموجة التي يريدها لأجل ضبط أداة الفحص، وقدرة الجهاز على تخزين نتائج الفحوصات (لكي تستخرج المعلومات لاحقاً باستخدام الكومبيوتر)، وأدوات تسجيل البيانات متوافرة كلها.

8-2-4 جهاز تتبع الليف البصري

تنتج معظم مشاكل شبكة الألياف البصرية عادة بسبب التوصيلات غير المتقنة، ولكن بما أن الضوء لا يمكن رؤيته بالعين

المجرّدة، فمن غير الممكن رؤية إذا ما كانت هناك إشارة في الليف، وإذا كان الليف في السلك ينقل الضوء، ومعرفة كم من القدرة تخرج عند الطرف الآخر من الليف... إلخ.

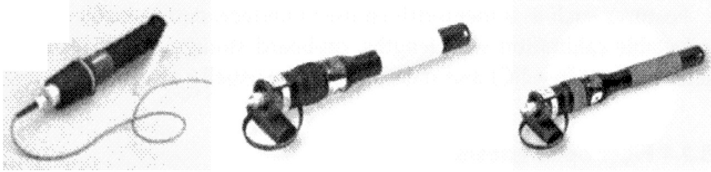


الشكل 8-3 جهاز فوتك دي أم 3000 (Fotec DM3000) (تقدمة شركة فوتك)

إن استخدام جهاز التعقّب هذا لا يزوّدك بالقدرة البصرية لرؤية مدى استمرارية الليف وقياسات القدرة فقط، ولكنه مفيد كذلك للإجراءات الأخرى، مثل:

- فحص احتمال وجود عطب في السلك أثناء عملية الشحن؛
- فحص الليف وهو لا يزال ملفوفاً حول البكرة قبل استعماله؛
- الكشف عن الكسور لمسافة تزيد على أربعة كلم؛
- تشخيص الليف التالي المراد فحص كمية الفَقْد فيه باستعمال معدات الفحص الأخرى،
- التأكد من أنه جرى توصيل الأسلاك كلها بشكل صحيح في لوحة التحكم... إلخ.

إن أجهزة التعقب هذه (الشكل 8-4) هي عبارة عن مصابيح يدوية صغيرة الحجم عدّلت لبث الضوء داخل الليف، وهي مهمة جداً للتأكد من أن الليف يبث الضوء من أجل تعقب الإشارة عبر الشبكة.



جهاز داتاكوم لفحص الليف — **جهاز نوينس أل 160 لتحديد العيوب** — **جهاز فوتك أس 660 فوتريسير**

الشكل 8-4 أمثلة عن أجهزة تعقب الليف البصري (تقدمة شركة فوتك، نوينس وداتاكوم)

عادة تغلّف هذه الأجهزة بحاوية بحجم الجيب مقاومة للماء بحيث يمكن ربط الجهاز بكل أنواع الموصلات المعروفة من دون الحاجة إلى وصلة المهايئة (Adapter) خاصة. كما إنها غير مكلفة وعادة ما تُعطى للمهندسين كأداة عامة للفحص.

8-2-5 أدوات فحص الطاقة والتوهين

إن هذه الأدوات أساسية لفحص الألياف البصرية مثل أي أداة فحص استمرارية في الأسلاك النحاسية والأسلاك متحدة المحور. وبالفعل، فإن إحدى أهم الفحوصات في الليف البصري الضرورية أثناء التركيب وفي أثناء الخدمة هي قياس مقدار الطاقة البصرية عند نهاية الليف. ويشكل هذا أساساً لتحديد و/ أو تأكيد كمية الفقد في المسار البصري.

إن هذه الأدوات مصمّمة للفحص السريع لموصلات الألياف متعددة الأنماط والألياف مفردة النمط. وتظهر النتيجة على الشاشة

كعرض بسيط لمقبول/ مرفوض (Pass/Fail)، أو كاختيار مجموعة كاملة من نتائج الفحص مبنية على الطول، والتأخر في البث، وكمية فقد الطول الموجي، والبيانات التي يجهّز بها المستخدم مثل عدد التوصيلات والربطات. ومن ثم تحمّل النتائج على جهاز الحاسوب ويجري استخدام النتائج الموثقة عندئذٍ لإعداد تقارير أو استشهادات للشبكة مبنية على أحدث المعايير العالمية للألياف. ويمكن لهذه المعدّات أن تعمل كمقياس للقدرة البصرية.



الشكل 8-5 جهاز تيربوتيست 400 (Turbotest 400) (تقدمة من نويَنس)

إن عدة فحص الطاقة والتوهين بسيطة التركيب (تتكون من مُرسل بصري ومُستقبل مقترن معه). وهي متوافرة في الأسواق بنوعين: عدة تحمل باليد، وعدة تثبت على المنضدة، وتصنّع من قبل الشركات الآتية مثل فيليبس (Philips)، وشركة أتش. دي. دبليو. للإلكترونيات (HDW Elektronik)، وواندل وكولترمان (Wandel & Golterman)، وهيولت باكارد (Hewlett Packard)، وفوتودايـن (Photodyne)، وسولاترون (Solatron)، وثورن إي. أم. آي. (Thorn EMI)، ونوينس (Noynes). . . إلخ. إن كل هؤلاء المصنعين يصنعون معدات تتمتع

بالقدرات نفسها في معظم الأوقات. وتبدو منتوجاتهم مشابهة للآلة الظاهرة في الشكل 8-5.

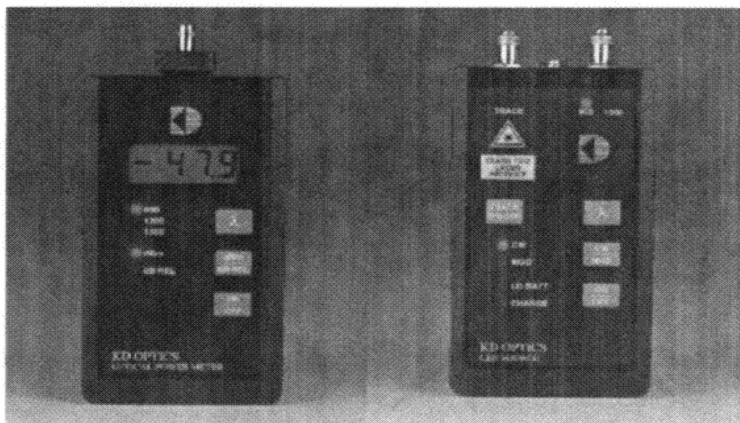
بما أن جهاز قياس القدرة البصري هو أداة أساسية للقياس، وبخاصة للاستعمال في تمديد الأسلاك قصيرة المسافة، إلا أن استخدام جهاز قياس الانعكاس لمجال الزمن البصري مُفضل بسبب قدرته على تزويد المستخدم بمعلومات أكثر. إلا أن الجانب السلبي لاستخدام جهاز قياس الانعكاس لمجال الزمن البصري هو كلفة الآلة. ويعتمد ذلك على النوع المختار الذي قد يصل سعره إلى آلاف الجنيهات الاسترلينية.

8-2-6 أجهزة الفحص الميدانية الأخرى

إن جهاز القياس الفيبرميتر (Fibermeter™) هو من منتوجات شركة داتاكوم، وهو مثال لمنظومة التصديق الكامل لأداء لليف في الفحص الميداني لوصلات الألياف متعددة الأنماط، ووصلات الليف السلكية المسموح بها (الشكل 8-6).



الشكل 8-6 جهاز الفيبرميتر، منظومة تصديق الفحص الميداني (تقدمة شركة داتا كوم).



الشكل 8-7 جهاز قياس الطاقة البصرية بي أم 23 (PM23) وجهاز مصدر ضوئي باستخدام الصمام الثنائي الباعث للضوء (LS20DV) (تقدمة كي دي - أوبتيكس)

يقوم الجهاز بقياس كمية الفقد البصري أوتوماتيكياً، وقياس طول الكابل، وإذا ما كانت معايير هذا الكابل مطابقة للمعايير المتفق عليها عالمياً، كما ويخزّن الجهاز المعلومات الناتجة من الفحص.

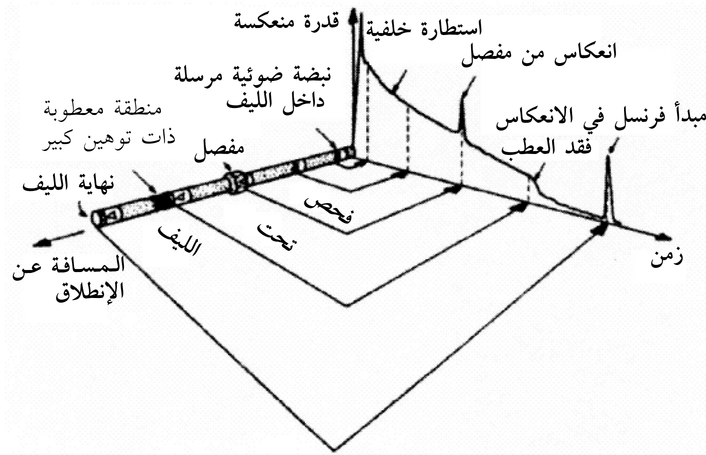
إن المعدات متعددة الأنماط (الشكل 8-7) مناسبة لفحص الشبكات المحلية، وشبكات الليف التي توزع بيانات المعلوماتية (Fiber Distributed Data Interface - FDDI) والمعدات مفردة النمط (الملائمة لفحص الشبكة الرقمية المتزامنة Synchronized Digital Hierarchy - SDH)، وكابلات القنوات الفضائية (Cable TV CATV)، وكابلات شبكة الاتصالات (Telecom) - سواء أكانت داخل أم خارج البناية - معدات متوافرة .

على الرغم أن الاستخدام الرئيس لهذه الأجهزة هو فحص التوهين في الكابل، إلا أنه من الممكن استخدامها لفحص استمرارية الكابل، وفحص الموصّل وقدرة المُرسل أيضاً... إلخ، ما يجعل هذه المعدات مثالية للفحص الميداني.

8-2-7 مقياس انعكاس المجال الزمني البصري OTDR)

هو جهاز ذو أهمية ويستخدم بشكل واسع كتقنية للقياس والفحص خلال عملية تركيب الليف البصري. وقد طُوّر في منتصف السبعينيات من القرن العشرين من قبل ستيوارت بيرسنك Stuart) (Persenick ومايكل باينوسكي (Michael Bainoski). ويعمل هذا الجهاز بمبدأ رايليه للاستطارة الخلفية للضوء Rayleigh) (Backscattering، حيث إن مقداراً صغيراً من الضوء يتبعثر في كل الاتجاهات بينما ينتقل داخل الليف. ويستخدم الجهاز هذه الظاهرة من خلال بث نبضات ضوئية عبر الليف، ومن ثم يقوم بقياس الانعكاسات التي تحدث. إن هذه العملية مفصلة في (الشكل 8-8).

إن جهاز (OTDR) مستخدم على نطاق واسع لقياس مزايا الأداء والتوهين للبث (أي كمية الفقد مقابل المسافة) الخاص بالليف البصري، وبخاصة عند عملية تركيب الألياف أو بعد عملية الصيانة.



الشكل 8-8 يوضح المبدأ الذي يعمل عليه مقياس الانعكاس لمجال الزمن البصري باستخدام نظرية رايليه للاستطارة الضوئية لفحص منظومة الليف البصري.

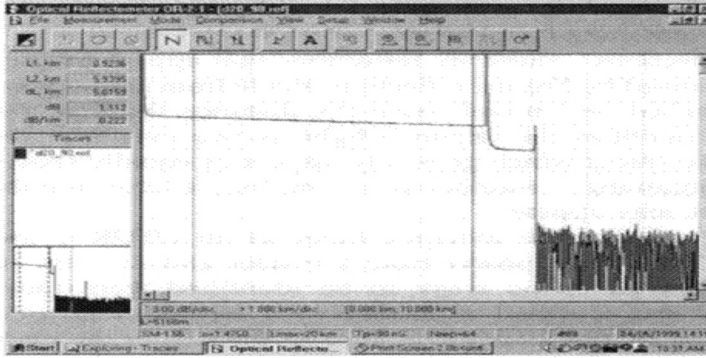
يمكن استخدام الجهاز كذلك لكشف وتحديد العيوب، والوصلات، وبعض العيوب الأخرى في الألياف التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة.

ويستخدم الجهاز كذلك لفحص وتوصيف أسلاك الليف البصري، وبالتالي فحص شبكات الألياف البصرية من خلال فحص طرف واحد فقط، إذ إن هذه الأجهزة تقيس كمية الفقد من الطرف - إلى - الطرف الآخر، وكمية الفقد المقطعي، وكذلك كمية الفقد بسبب الوصل، والموصّلات، والوصلات الميكانيكية لعكس الضوء. كما إنها تستخدم لتحديد الكسور، والعيوب والرصف غير المتقن. كما وتقيس التراجع التدريجي أو المفاجئ لأداء الليف.

8-2-7-1 الفحص باستعمال جهاز قياس انعكاس المجال الزمني البصري

تقيس فحوصات التوهين المقدار الكلي لفقد الطاقة بين نقطتين. غير أنه لاكتشاف سبب الفقد وموقعه، فمن الضروري استخدام جهاز (OTDR) وذلك لتجهيز المستخدم بما يأتي:

- مكان مؤلفات المنظومة، والوصلات والموصّلات؛
- كمية الفقد الذي تتسبب بها الأجهزة المستخدمة؛
- أماكن وجود العيوب في المنظومة والنقاط ذات التوهين العالي أو الكسور (عدم استمرارية الليف)؛
- المزايا العامة لليف؛
- الطول الكلي لليف؛
- كمية الفقد الكلي لليف؛
- قياس dB/km.



الشكل 8-9 برنامج تعقب خاص للجهاز البصري لقياس انعكاسية المجال الزمني (OTDR)

يعمل الجهاز البصري لقياس انعكاسية المجال الزمني من خلال إرسال نبضة ضوئية في الليف، ومن ثم يأخذ عّينة من الضوء المنعكس نحو المصدر (الجهاز نفسه)، من خلال مبدأ رايليه لاستطارة الضوء ومبدأ فرنسل للانعكاس (Fresnel Reflection). ويحلل الجهاز بعدئذٍ عيّنة الضوء المأخوذة واستخدام الفرق الزمني للعينات المأخوذة لقياس المسافة وكمية الفقد لعرضهما على شكل رسم بياني، وفي بعض الأحيان خزن المعلومات على قرص كومبيوتر. وفي الرسم البياني المبين في الشكل 8-9 يمثل محور الصادات (Y-axis) طاقة الإشارة، بينما يمثل محور السينات (X-axis) المسافة التي تنتقل خلالها الإشارة، وتقاس بالدسيبل/ كلم. ومع انتقال الإشارة عبر الليف، فإنها ستفقد القدرة بشكل مستمر بسبب التوهينات القياسية المتكررة.

إن هذا الجهاز أداة مفيدة للفحص والبحث عن العيوب. وإذا كان من الضروري أن نفحص الإشارة الخارجة من جهاز الإرسال والإشارة الداخلة إلى جهاز الاستقبال، فإن جهاز قياس الطاقة (Power Meter) فعّال أيضاً.

8-2-7-2 خصائص الجهاز البصري لقياس انعكاسية المجال الزمني

يتميز الجهاز البصري لقياس انعكاسية المجال الزمني بعدة عوامل، وهي:

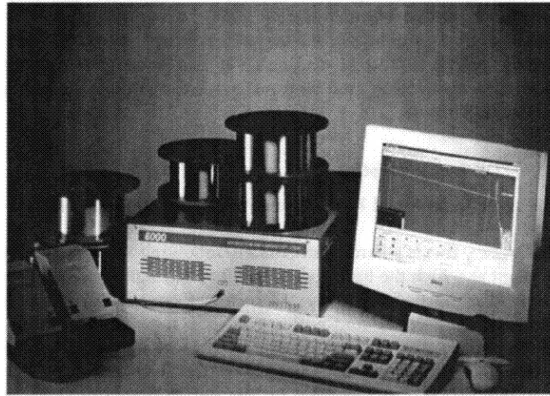
● **منطقة الانعدام** (Dead Zone): وتقع مباشرة بعد نقطة الانطلاق، أي النقطة التي يدخل فيها الضوء إلى الليف من خلال الموصّل الأول. وهو تأثير ينتج بسبب انعكاس فرنسل كبير الحجم من الموصّل ليشبّع المُستقبِل. ولا يمكن أخذ القياسات ضمن المنطقة الهامدة هذه. يعتمد حجم منطقة الانعدام على طول النبضة، أي الطاقة الناتجة من الليزر في جهاز (OTDR). وقد صممت قدرة التبيّن (Resolution) العالية لهذا الجهاز لقياس الأطوال القصيرة. ولذلك فإنها تحتاج إلى منطقة انعدام قصيرة المسافة. ويمكن أن تقلّص هذه المنطقة باستخدام سائل المطابقة عند الموصّل، إلا أن هذه الطريقة لا يوصى باستعمالها في كثير من أجهزة قياس انعكاسية المجال الزمني.

● **الانعكاسات الشبحية** (Ghost Reflections): وهي انعكاسات تظهر مرتين في عملية التعقب. وسببها انعكاسات فرنسل الناتجة من الموصّلات التي يمكن إعادة إطلاقها لتنتقل ضعف المسافة في الليف. ويقوم الكاشف بتمييز الضوء المعاد إطلاقه على شكل حدثين منفصلين في الليف، ويظهر الرسم الكاشف أثرين لكل منهما، وعادة ما يبدوان على شكل قمتين متساويتي الارتفاع في الرسم البياني. ويمكن أن يظهر عدد كبير من انعكاسات شبحية كهذه في الرابط الذي يحوي عدداً من الموصّلات .

● **المجال الديناميكي** (Dynamic Range): إن المجال الديناميكي للجهاز الضوئي لقياس انعكاسية المجال الزمني هي الفرق بين الطاقة الناتجة من الليزر وكمية الفقد الذي تكون فيه الإشارة

المنعكسة ضعيفة جداً بحيث لا يمكن تمييزها من الضوضاء. ويقاس المجال الديناميكي بالدسيبل، كما إن مدى الجهاز يعتمد على المجال الديناميكي وكمية الفَقْد في الليف.

إن الأجهزة البصرية لقياس انعكاسية المجال الزمني المستخدمة في فحص المنتوجات وفي المختبرات هي معدات قادرة على العمل المستقل. وتصنّع من قبل مصنعين مختصين. ومثال على هذه الأجهزة جهاز شركة (نيت تست بي كي تكنولوجي نموذج 8000 - Nettest) (PK Technology Model 8000 المبين في الشكل 8-10 والقادر على استيعاب ثمانية أطوال موجية ومُستقبلات عديدة. وتتضمن وحدة برمجة المنظومة البصرية أداءً عالياً للنمط المفرد ومتعدد الأنماط، والتصميم الهجين مفرد النمط/ متعدد الأنماط. ويمكن للتقنيين الذين يقومون بالفحص أن يتحكموا بهذه الوحدة البصرية (نموذج 8000) من خلال واجهة استخدام قابلة للتعديل بحسب متطلبات العمل تعمل بنظام ويندوز أن تي (Windows NT) في جهاز تحكم كومبيوتري (Pentium PC Controller 8000's).



الشكل 8-10 جهاز نيت تست/ بي كي تكنولوجي نموذج 8000 OTDR (تقدمة نيت تست).

هناك كثير من أجهزة (OTDR) المختبرية في السوق حالياً، غير أنها عادة ما تكون باهظة الكلفة. وتعتبر الأجهزة المتنقلة والمحمولة، على الرغم من أنها غير قادرة على إجراء كل الفحوصات التي يمكن أن تؤويها الأجهزة المختبرية، حلاً بديلاً أرخص. ويعتبر جهاز شركة نت تست نموذج سي أم أي 4000 (CMA 4000) الظاهر في الشكل 8-11 نموذجاً ميدانياً محمولاً من أجهزة (OTDR) يحوي كل الخصائص الموجودة في (OTDR) المخبري، كما إنه في الوقت نفسه أداة متينة، ومتنقلة، محمية بيئياً، ومن التراب، والمطر، والصدمات.



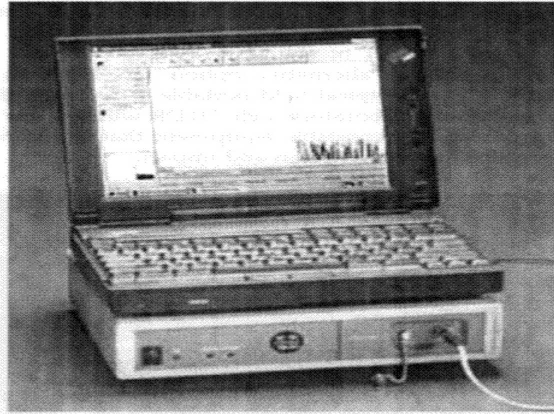
الشكل 8-11 مقياس (OTDR) **متنقل، نموذج سي أم أي 4000** (CMA4000) **للاستعمال الميداني (تقدمة شركة نيت تست)**

تؤمن منظومة الفحص البصرية نموذج سي أم أي 4000 قدرة فحص كاملة وحلولاً لمشاكل قياس الشبكة البصرية ضمن أداة ميدانية اقتصادية متينة ومحمولة. وهذه المنظومة قابلة للتعديل كجهاز (OTDR)

مزود بقدرة على تحديد العيوب، ومقياس للطاقة البصرية، ومصدر ضوئي، أو كمحلل للطيف البصري ذي درجة تبيّن عالٍ (OSA: Optical Spectrum Analyser) لمنظومات التضاعف المكثف لتقسيم طول الموجة (Dense Wavelength Division Multiplexer). ويمكن تعديل هذا الجهاز بكثير من البصريات المختلفة لكي يتلائم مع أي نوع من التطبيقات بما فيها وحدات الأجهزة البصرية لقياس انعكاسية المجال الزمني لطول الموجة المفردة، والمزدوجة، والثلاثية، والرباعية.

إن جهاز قياس انعكاسية المجال الزمني ليس بديلاً لعدة الفحص (Test Kit) (مثل المصدر الضوئي والعداد) لفحص كمية الفقد، إلا أنه جهاز مهم لإيجاد الخلل وإصلاحه، خصوصاً خارج المصنع، ولشبكات المُجمّعات.

إن جهاز فيبر يو (Fiber U) البصري لقياس انعكاسية المجال الزمني، من شركة فوتك الظاهر في الشكل 8-12، هو وحدة متنقلة تقوم بتحويل أي جهاز حاسوب يعمل بنظام ويندوز إلى جهاز بصري لقياس انعكاسية المجال الزمني.



الشكل 8-12 جهاز فيبر يو (Fiber U) البصري لقياس انعكاسية المجال الزمني (تقدمة شركة فوتك).

يتألف جهاز (OTDR) من وحدة بصرية لفحص الليف متعدد الأنماط أو 850/ 1300، وفحص الليف مفرد النمط أو 1310/ 1550. ويجري التحكّم بالوحدة البصرية من خلال لوحة تحكم رئيسة يمكنها كذلك معالجة الإشارات البصرية، كما يمكن وصل الجهاز بالحاسوب لعرض ومعالجة البيانات الصادرة عن الجهاز، كما يمكن تشغيل الجهاز بواسطة محوّل كهربائي ذي تيار متناوب (AC)، أو من خلال استعمال البطاريات.

يُعدُّ هذا الجهاز الأكثر يسراً، إذ إن عملية التحكّم به شبيهة بعمل نظام ويندوز كاستعمال الفأرة في الحاسوب لاختيار العمل المطلوب، أو باستخدام الأزرار على الشاشة لعرض البيانات في النوافذ، كما يوجد فيه نافذة خاصة لمعالجة الملفات أيضاً.

8-2-8 الجهاز البصري لتحديد العيوب

على الرغم من أن جهاز (OTDR) أداة مهمة يمكنها تزويد المستخدم بمقدار كبير من البيانات عن شبكة الليف البصري (مثل كمية فقد الإشارة، ومقدار الانعكاسات والانكسارات والأخطاء غير الانعكاسية)، كما إنها جيدة لتحسين أداء الشبكات الجديدة، إلا أنه في بعض الأحيان يكون استخدامه محدوداً، كما إن كثيراً من عمليات الفحص لا تتطلب الاستخدام المعقد لهذا الجهاز.

يتطلب عدد وطبيعة الفحوصات التي يمكن لجهاز (OTDR) القيام بها تدريباً مكثفاً إلى حد ما. كما إن الجهاز معقد بحيث يتطلب إعداداً معيناً وتعييراً (Calibration)، قبل كل استخدام.

ويكمن الحل باستخدام جهاز تحديد العيوب (Optical Fault Locator - OFL)، القادر على أداء معظم العمليات الأساسية التي تشكل معظم الفحوصات التي تُجرى على شبكات الليف البصري. إن

أجهزة تحديد العيوب هي الحل الأمثل لفحص طول وسلامة السلك الجديد في البكرة قبل أن يُسحب ويُمد في قنوات الأسلاك. ويمكن كذلك استخدامه لفحص السلك بعد تركيبه من حيث الطول، وسلامة التركيب، وكذلك قابلية الوصلات والموصّلات على التحمل. ويمكن بعد أن يكتمل بناء الشبكة وتشغيلها استخدام الجهاز لتحديد أماكن الكسور أو العيوب في الأسلاك وللكشف عن وجود الانعكاسات غير المطلوبة.

8-2-9 جهاز تحديد العيوب مقارنة بالجهاز البصري لقياس انعكاسية المجال الزمني

على الرغم من قدرته المحدودة على القيام بمهام متنوعة، إلا أن لجهاز تحديد العيوب (OFL) مزايا أهم من المزايا المتوافرة في الجهاز البصري لقياس انعكاسية المجال الزمني. وهذه المزايا ليست محصورة بكلفة الجهاز فقط. إن كل شركة هاتف أو شركة تصنيع أسلاك تستعمل عادة جهازاً أو جهازين من الأجهزة البصرية لقياس انعكاسية المجال الزمني في خدمات الصيانة والخدمات الأخرى كتركيب الأسلاك أو التصليح بحيث إن يكون هذا الجهاز هو للاستعمال المشترك بين فرق العمل التابعة للشركة. ويعني هذا أن كل فريق أن يتدرب على استعمال هذا الجهاز، أو في الأقل أن يتدرب عدد من العاملين فيه حيث يمكن استدعاؤهم إلى ميدان العمل ليقوموا بالفحوصات اللازمة للشبكة. ويزيد هذا من الكلفة بطبيعة الحال. ومن ناحية أخرى، فإن جهاز تحديد العيوب بسيط ولا يتطلب تدريباً أو أشخاصاً معينين لتشغيله بحيث يستطيع العاملون جميعهم التدرب على كيفية تشغيله.

كما يمكن استخدام جهاز تحديد العيوب أيضاً لقياس كمية

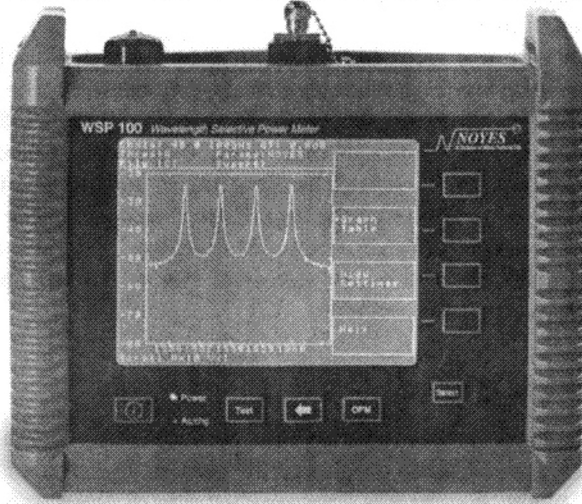
الفَقْد (بالإضافة إلى المصدر البصري أو جهاز قياس الطاقة أو معدات فحص كمية الفَقْد البصري). ومن محاسنه سرعة الاستعمال، كما إن منطقة الانعدام فيه تكون في حدها الأدنى (وهي المسافة عند طرف بداية الليف التي يصعب إجراء القياسيات فيها لقصر فترة الانعكاس بالنسبة إلى القراءات الدقيقة).

8-2-10 عدة فحص قياس سعة الموجة

من العوامل المحددة التي تحكم انتقال المعلومات في الليف البصري هي سعة الموجة في الليف نفسه. وعلى الرغم من أن المصنّع يعطي التفاصيل المتعلقة بالسعة الموجية لليف الأصلي، إلا أنه عندما يوصل ليف أو أكثر مع بعضهم بعضاً عند التركيب (وبسبب احتمال حصول عملية تركيب غير متقنة، أو عدم تطابق الألياف مع بعضها. . . إلخ) فإنه من الصعب توقع حجم السعة الموجية بشكل دقيق.

وفي عملية التطبيق للموجة العريضة يتوجب على مهندس الشبكة والمستخدم القائم بأعمال الصيانة أن يكونا على علم بالحجم الفعلي لسعة الموجة في المنظومة بعد الانتهاء من تركيبها.

ومع أن المعدات التي تساعد المهندس على فحص سعة الموجة محدودة إلا أنها متوافرة. وإحدى هذه المعدات هو جهاز نويس (Noyes) المحمول لقياس طاقة انتقاء طول الموجة المتعددة، (الظاهر في الشكل 8-13) والمُصَمم لعمليات التركيب، والصيانة وإيجاد المشاكل وحلّها.



الشكل 8-13 عداد قدرة انتقاء متعدد الأطوال الموجية (WSP100) - (تقدمة شركة نوينس (Noynes).

يقوم الجهاز بتحليل كل قناة تلقائياً وبقياس الطول الموجي/ التردد المركزي، ومستوى الطاقة، ونسبة الإشارة الضوئية - على - الضوضاء (Optical Signal to Noise Ratio). وتعرض نتائج الفحص إما على شكل جدول أو على شكل رسم بياني. كما ويمكن تشغيل الجهاز إما يدوياً أو عن بعد.

ألقينا الضوء في هذا الفصل على بعض معدات الفحص المتوافرة حالياً لتقنيي تركيب شبكات الليف البصري ومهندسي أنظمة الاتصالات. وأما في الفصل الأخير فسنلقي نظرة على مستقبل الإلكترونيات البصرية وأسلاك الليف البصري، والأفكار الجديدة، والتطورات الملحوظة، وكيف أن استعمال الليف البصري يتزايد في المؤسسات العسكرية والحكومية وفي المعامل والمصانع.

الفصل التاسع
التطويرات المستقبلية

يتناول هذا الفصل الأخير الإمكانات المستقبلية القريبة والبعيدة لتكنولوجيا الألياف البصرية والإلكترونيات البصرية، بالإضافة إلى التحسينات الجديدة والاستعمالات المتزايدة للألياف البصرية من قبل الحكومات، والمؤسسات العسكرية، والمصانع، واستفادتها منها بشكل متزايد.

ينقسم استعمال الألياف البصرية في العالم التجاري إلى ثلاثة أصناف منفصلة: الاتصالات السلكية واللاسلكية (Telecommunication) (المرتكزة أساساً على استعمال الألياف في الخطوط الرئيسة والشبكات المناطقية)، وفي المعدات العسكرية والصناعية (حيث يُركز الاستعمال في الاتصال الرقمي وحماية الشبكة من القرصنة)، وفي الشبكات المحلية أو في شبكات الخدمة الرقمية المتكاملة (Integrated Services Digital Networks - ISDN) وهي الأكثر استعمالاً في عالم الأعمال.

إن أكثر من 50 في المئة من استعمالات الألياف البصرية هي في تطبيقات الاتصالات السلكية واللاسلكية، وفقاً لمجلس العلوم والتكنولوجيا الاستشارية في المملكة المتحدة (Advisory Council on Science & Technology - ACOST).

وقد بيّن مجلس العلوم والتكنولوجيا في تقرير أصدره مؤخراً

عن الإلكترونيات البصرية أن هذا المجال ذو أهمية استراتيجية كبيرة، وأن قيمته في السوق العالمية تزداد بنحو 10 مليار جنيه استرليني سنوياً. وقدرت شركة (ITT) كورنينغ الأميركية، وهي من أولى الشركات التي عملت في قطاع الإلكترونيات البصرية، أن السوق الأميركية وحدها ستحتاج إلى 60 مليون كلم من الألياف البصرية في العام 2002.

وهذا يؤكد تقرير مؤسسة كسلر لبحوث التسويق (Kessler Marketing Intelligence) الذي نص على أنه من المتوقع أن يزداد سوق الألياف البصرية في أميركا وحدها بمعدل نمو 15 في المئة سنوياً.

ومن الناحية الأخرى، قدرت غرفة الصناعة والتجارة بأن الناتج الإجمالي للمملكة المتحدة من الأجهزة البصرية ومركباتها للعام 2002 سيصل إلى حوالى 4 مليارات جنيه استرليني، أي ما يعادل أكثر من نصف إنتاج الاتحاد الأوروبي.

يزداد الاهتمام في التطبيقات العملية مثل أنظمة الحكومة، وأنظمة المشاريع البحرية وشبكات المصانع المتحكم بها من خلال وحدات معالجة، يزداد بسرعة، كما إنه من المتوقع أن يزداد معدل النمو السنوي للاستعمالات السلكية المحلية والإلكترونيات البصرية بنسبة 70 في المئة.

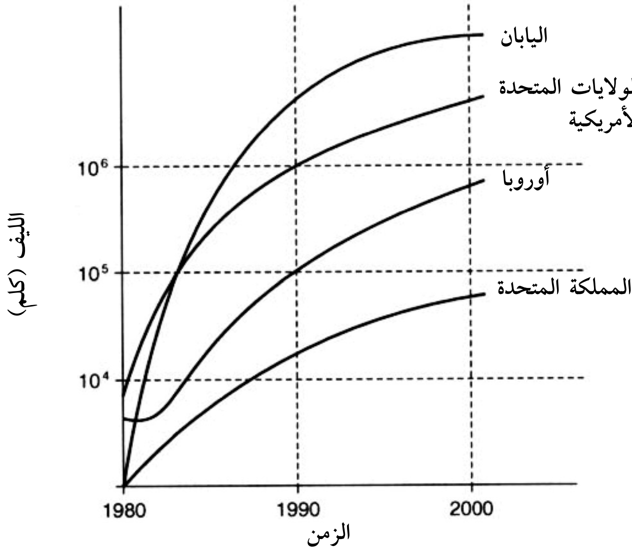
9-1 السوق العالمية

إن القارة الأوروبية هي أكبر أسواق الاتصالات السلكية واللاسلكية وأكثرها ربحية في العالم. ويسكنها حالياً حوالى 320 مليون نسمة، أي أكثر من ضعفي عدد سكان اليابان، وأكثر من سكان الولايات المتحدة بنسبة 50 في المئة، بما فيها دول التجارة

الحرة الأوروبية (Europe Free Trade Association - EFTA)، ما يزيد عدد سكان هذه القارة إلى 360 مليون. وربما يصل العدد إلى 500 مليون نسمة إذا حسبنا بلدان أوروبا الشرقية.

تبلغ قيمة السوق العالمية لمعدات الاتصالات البصرية حوالى 30 مليار جنيه استرليني. ومن المتوقع أن تنمو بسرعة أكبر. وقد تصل إلى حوالى 200 مليار جنيه استرليني بحلول العام 2010. إن لبريطانيا النصيب الأكبر في تصنيع وتصميم أشباه الموصلات في أوروبا، وتحتل المرتبة الخامسة في مجال التصنيع الإلكتروني الرائدة في الضوئيات.

إن كمية الطلب المتوقعة في أطوال الألياف (بالكيلومترات) لأنظمة الألياف البصرية مفصلة في الشكل 9-1.



الشكل 9-1 كمية الطلب المتوقعة بالكيلومتر من أنظمة الألياف البصرية ممثلة بشكل منحنيات تراكمية.

إن الجزء الأعظم من سوق الألياف البصرية الأوروبية يقع في فرنسا، وألمانيا الشرقية، والمملكة المتحدة:

● **فرنسا**: وهي قوية في مجال تكنولوجيا الاتصالات السلكية واللاسلكية، واستعملت الألياف البصرية في مرحلة مبكرة مقارنة بالدول الأخرى. وكانت منظومة بياريتز (Biarritz) العائدة لها الأولى في العالم من ناحية تأمين الخدمات للمشتركين عبر الألياف البصرية. إلا أن فرنسا لم تتبنَ تكنولوجيا الألياف البصرية في كافة شبكات تلفوناتها السلكية الرئيسة.

● **ألمانيا**: كانت متحفظة قليلاً لتبني هذه التكنولوجيا على الرغم من كثرة الاختبارات التي أجرتها في شبكة الألياف البصرية المتكاملة في عدد من المدن والتزامها باستعمال الألياف البصرية في خطوط الهاتف السلكي الرئيسة التي ستركب في المستقبل باستعمال الليف مفرد النمط، إلا أن هذا الحافز قد تلاشى بشكل من الأشكال.

● **المملكة المتحدة**: تم بالفعل تركيب كثير من الخطوط الرئيسة ذات الليف مفرد النمط للاتصالات السلكية واللاسلكية والمعلومات. وقد خُطّط لكثير من هذه الشبكات في المستقبل مع التزام قوي بالشبكات المحلية والشبكات المدينية والشبكات الواسعة المساحة. وقد قامت الحكومة البريطانية بوضع شبكة ليف بصرية تعمل تلقائياً (Stand Alone) بين منشآتها الأخرى، ما يؤمن حماية رقمية للمعلومات المرسلة أحسن مما في شبكات المعلومات الموجودة، وتؤمن خدمات كثيرة في تناقل المعلومات مثل الفاكس والتلكس، والصوت عالي الجودة، وعدد من مكتبات محطات التلفزة والمعلومات.

● **الأسواق الأوروبية الأخرى**: وتتضمن هذه السوق سويسرا (التي تستعمل تغذية بالأسلاك مفردة النمط بين المدن كجزء من

الشبكة الرقمية للخدمات المتكاملة ISDN)؛ والدنمارك (التي استبدلت نظامها بنظام الأسلاك الليفية البصرية ذات السعة العالية)؛ والسويد (التي تتصدر العالم من ناحية كثافة عدد الهواتف لكل فرد - وهي في الأصل تستعمل الألياف مفردة النمط في شبكاتها على صعيد الحمل في تسعينيات القرن الماضي).

مع هذا الاهتمام العالمي باعتماد الإلكترونيات البصرية، فمن غير المفاجىء أن تتقدم هذه التكنولوجيا بوتيرة أسرع من أي تكنولوجيا أخرى فيما يجري تطوير تكنولوجيات جديدة أخرى.

9-2 سوق المملكة المتحدة

أعلنت عدة شركات عالمية منذ عام 1999 عن خطوط توسيع في المملكة المتحدة:

● نورتيل (Nortel) وهي شركة اتصالات كندية لصناعة معدات الاتصالات، توظّف حالياً حوالى 5000 شخص في حقل إنتاج مكونات الألياف البصرية في مصانعها في مدينة بايغنتون (Paignton)، وهارلو (Harlow) وبلفاست (Belfast) ـ وهذا ضعف عدد موظفيها في عام 1998. ويُعدّ مصنعها في باينتون أحد أهم مراكز التصنيع الكبرى في أوروبا لتصنيع مضخمات بصرية ذات جودة عالية، بالإضافة إلى تصنيع أجهزة تضاعف بتقسيم طول الموجة (Wave Division Multiplexers).

● ضاعفت أجيلنت (Agilent)، وهي جزء من شركة هيولت باكارد (Hewlett Packard) الأميركية، عدد موظفيها في مصنع إيبسويش (Ipswich) حيث أصبح عدد العمال 1000 موظف يصنعون مكونات بصرية لشبكات الاتصال و«ضخ الليزرات» في الأسلاك التي تستعمل في أعماق المحيطات.

● جي دي أس ـ يني فيز (JDS - Uni Phase) وهي شركة كندية التي اشترت حقوق شركة سيفام (Sifam) للألياف البصرية وأعلنت عن إيجاد أكثر من 1000 وظيفة في مصانعها في توركواي (Torquay) وبليموت (Plymouth).

● آجير (Agere)، وهي أصلاً مجموعة تعنى بالإلكترونيات المصغرة ومقرها في الولايات المتحدة، تابعة لشركة لوسنت تكنولوجي (Lucent Technology)، افتتحت فرعاً لها في أوروبا لتصميم المخضمات البصرية في أسكوت (Ascot) أواخر العام 1998/ أوائل عام 1999.

وفي المملكة المتحدة، قامت عدة شركات بالتوسع بسرعة، ومنها:

● مجموعة الاتصالات البريطانية ماركوني (Marconi) وكانت تسمى سابقاً جي إي سي (GEC). وكانت قد أعلنت في عام 2001 مخططها عن افتتاح شركة للمكونات البصرية لتحسين بحوث وتطوير الضوئيات بأحدث طرق التصنيع. وهذه الشركة الجديدة ستؤمن حوالى 400 وظيفة.

● بوكهام تكنولوجي (Bookham Technologies) في مدينة آبينغدون (Abingdon). تأسست في عام 1988 وطورت تكنولوجيا عالمية اسمها «أسوك» أو «المكونات الضوئية للتطبيقات المحددة» (Application Specific Optical Component - ASOC) لتصنيع أدوات الألياف البصرية باستعمال تركيبة من التجميع الآلي وتقنيات صنع رقاقات سليكونية ميكروية. واستطاعت الشركة أن تقلص من كلفة الصنع، وباختصار الزمن والتعقيدات المرافقة للصنع. وقامت بافتتاح مصنع في مدينة سويندون (Swindon).

● في حزيران / يونيو من عام 2000، قامت شركة جديدة تسمى شركة ساوث هامبتون للضوئيات (South Hampton

Photonics)، بتخصيص 37 مليون جنيه استرليني لواحد من أكبر الاستثمارات الخاصة في المملكة المتحدة في السنوات الأخيرة. وذلك لتطوير امتداد لمركز بحوث الإلكترونيات البصرية في جامعة ساوث هامبتون التي تتخصص بتصنيع مكونات الألياف البصرية التقليدية من أجزاء مفردة من الألياف، بدلاً من السليكون. وأدت الجامعة دوراً مهماً في عملية تطوير مضخم الليف المعالج بمادة الإيربيوم (Erbium Doped Fiber Amplifier - EDFA)، وهو أحد أهم الاختراعات في التكنولوجيا البصرية في السنوات الأخيرة. ويستعمل (EDFA) الليزر لضخ الضوء داخل غلاف الليف الذي عولج خصيصاً لتحفيز إطلاق الطاقة الزائدة في الإشارات الضوئية التي تمر عبر لب الليف، ما يضخم هذه الإشارات بشكل فاعل. ويفترض أن تُؤمن هذه الشركة الجديدة 200 فرصة عمل.

● وهناك كثير من الشركات الجديدة في المنطقة الجنوبية الشرقية تطور تكنولوجيا عرض جديدة. وتعتبر المملكة المتحدة مصدراً مهماً للزجاج البصري المخصص أساساً لشركات أميركا الشمالية.

9-3 طرق التطوير

يُعدّ اختراع الإلكترونيات البصرية في أوائل الثمانينيات من القرن العشرين أحد أهم الاختراعات في أنظمة الاتصالات. ولا يزال البحث عن التكنولوجيا الأفضل في هذا المضمار يتواصل من دون انقطاع حتى في البيئات التي تخلو من الجاذبية مثل محطات الفضاء التي باتت تختبر الشعاع البلوري حالياً (والذي يلقب عادة بالشبكة الخارقة Super Lattice)، وتكنولوجيا الغشاء الرقيق، والتقنيات المتطورة لصناعة أشباه الموصلات مثل مؤين حركة الإلكترون الذي يستخدم طبقة زرنيخيد غاليوم الإنديوم (InGaAs) المنبثة على شريط

زرنيخيد الغاليوم (GaAs) والقادرة على إنتاج سعة موجة تصل إلى 250 جيغاهرتز. وفي الوقت نفسه، فإن عملية التطوير مستمرة أيضاً، وتتضمن الآتي:

9-3-1 السليكون المسامي

أثار السليكون المسامي انتباه العلماء منذ أن اكتشف فريق من العلماء البريطانيين أن ضوء الليزر أطلق على جهاز سليكون مسامي صلب أعاد بَثّ الضوء من جديد بأطوال موجية مختلفة. وأظهرت هذه النتائج إمكانية استعمال السليكون المسامي في المفاتيح الضوئية (Photonic Switch) وهي بديل أرخص من استعمال زرنيخيد الغاليوم باهظ الكلفة.

وفي الوقت نفسه، قام الباحثون الأميركيون باختراع جهاز تألق إلكتروني مرئي في سليكون مسامي صلب (Visible Electroluminescence In Solid-State Porous Silicon Device) من خلال بحث أُجري لحساب مكتب الجيش الأميركي للبحوث (US Army Research Office). وقد صُنع هذا الجهاز بترسيب طبقة موصلة من أكسيد الإنديوم القصديري الشفاف السالب (n) على سطح نماذج سليكون مسامي أُنتجت بطريقة النقش الأنودي (Anodic Etching) لبلورات سليكون موجب (P) في محلول حمض الهيدروفلوريك. ومن خلال تطبيق الانحياز للأمام ببث الجهاز ضوءاً أحمر مائل للون البرتقالي، اعتماداً على فترة النقش بالترسيب الكهربائي.

9-3-2 النقل البالستي (من خلال الحقن)

يتضمن حقن الإلكترون البالستي، إرسال إلكترونات عبر مدى

الطاقات المكافئة (Band Gap) المتقطعة التي تكونت من طبقات زرنيخيد غاليوم الألمنيوم (AlGaAs) وزرنيخيد الغاليوم (GaAs). وبما أن طبقة زرنيخيد غاليوم الألمنيوم (AlGaAs) لديها مدى طاقة مكافئة أكبر، فإن التقطع الناتج يؤمن خطوة محتملة تلتقطها إلكترونات زرنيخيد غاليوم الألمنيوم (AlGaAs) كطاقة حركية فتنتقل الإلكترونات بسرعة تعادل ست مرات سرعتها الاعتيادية.

إن استعمال طبقات زرنيخيد غاليوم الألمنيوم (AlGaAs) وزرنيخيد الغاليوم (GaAs) بالغة الرقة يُثبت مسار الإلكترونات، ويزيد فرصة اصطدام الإلكترون بذرّة (أو بأيون موجب) في الشبكة وفرصة التفاعل معها.

9-3-3 زجاج الفلوريد

في بحث مشترك ومتفق عليه مع شركة نيبون للهاتف والتلغراف (Nippon Telegraph and Telephone)، قامت شركة كورنينغ للأنظمة السلكية ببحث مبدئي في زجاج الفلوريد كخطوة أولى نحو تقنية الزجاج الفلوريدي المنصهر.

وقد أورد فريق العلماء بأن الأكسجين أساسي في توازن زجاج الفلوريد غير المتوازن بطبيعته واعتقدوا بأن هذا الزجاج سيكون واعداً في مستقبل الألياف البصرية. وافتراضياً، فإن كمية الفَقْد في هذا النوع من الزجاج هو أقل بدرجتين نوعيتين من أنواع الزجاج الأخرى، ما يجعل التركيبة مرغوبة من حيث كمية الفَقْد المنخفضة والبث على مدى المسافات البعيدة.

كما أكد فريق العلماء أن ترسيب الأبخرة طورياً (Vapour Phase Deposition) لزجاج الفلوريد يمكن أن يضيف نقاوة عالية (يمكن أن يستخلص منها ألياف سليكا ذات فَقْد منخفض)، كما إن زجاج

الفلوريد المُرسّب بأبخرة البريليوم (Beryllium) قد أظهر كمية ضئيلة من الفَقْد الناتج من الاستطارة.

من المتوقع أن زجاج الهاليدات (Halides) (وهي مجموعة من الكيميائيات الثنائية تضم اليود، والكلور، والفلور، والبورون) سيكون مادة مثالية للألياف البصرية المستقبلية. ويُتوقع أن تكون طفرة نوعية من زجاج السليكا. غير أن الزجاج الهاليدي لا يزال بحاجة إلى مزيد من الدراسة.

9-3-4 الاستقطاب

ويشير ذلك إلى ميزة هندسية خاصة للضوء ذات قدرة على التفاعل كموجة كهرومغنطيسية تتذبذب في مسطح منفرد. وعندما يتم تعريض طرف سلك الليف البصري لهذا المسطح المتذبذب (كتسليط ضوء داخل السلك)، فإن توجه مسطح الضوء من طرف إلى طرف في السلك نفسه يتغير.

وعلى الرغم من أن الاتصالات عبر الألياف البصرية لم تستعمل تقنية استقطاب الضوء لبث المعلومات، فمن المتوقع أن يعتمد المهندسون على زاوية الاستقطاب لمسطح الضوء المُرسل لتشفير نوع ما من الإشارة.

9-3-5 الشبكة البصرية التزامنية

استعملت معظم الشبكات الليفية، في التسعينيات من القرن العشرين، أطوال موجة منفردة محصورة في ألياف فردية مرتبة في حلقات الشبكة البصرية التزامنية (SONET) التي تتألف عادة من أربعة ألياف، واحدة للبث، والثانية لاستقبال الإشارة، والليفان الآخران للتوسع إذا ما اقتضت الحاجة.

إن المشكلة الأساسية في حلقات الشبكة البصرية التزامنية هي أنها محدودة السرعة، وإذا أراد مُشغل الشبكة أن يزيد من سعة الموجة (مثلاً) من 2.5 جيغابت إلى 10 جيغابت، فإن لديه خيارين، إما القيام بعملية حفر لمد ألياف إضافية، أو استبدال كل أجهزة المضاعفة بأجهزة أسرع. إلا أنه باستعمال المضاعفة الكثيفة عبر تقسيم الموجة (Dense Wave Division Multiplexing - DWDM)، يصبح بإمكان مشغّل الشبكة بأن يضاعف أطوال الموجة بقدر ما يريد عبر ليف واحد.

إن الاستعمال المتزايد للتضاعف المكثف لتقسيم الموجة وطرق التضخيم الأخرى مثل المضخم الليفي المطلي بالإيربيوم (EDFA) قد قللت من كلفة الشبكات وحسّنت أداءها.

9-3-6 نبضات الموجة الوحيدة

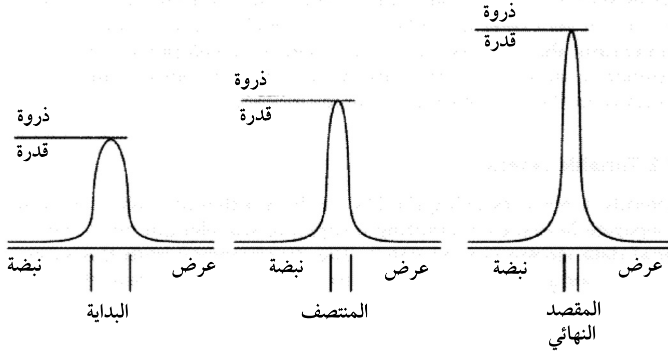
وهي جيل جديد من أنظمة البث التي تستغل الميزات اللاخطية لليف وهي في مرحلة متقدمة من البحوث والتصاميم.

إن مفتاح سرّ هذه الأنظمة هو السوليترون (Solitron)، أو الموجة الوحيدة، وهي عبارة عن شكل نبضة معيّنة، عندما يتم إرسالها عبر الليف بشكل صحيح، فإنها ستتضاعف عندما تُبث من خلال إلغاء التشتت الخطي (لأن النبضة تنتشر عبر التشتت) ملغية الجزء غير الخطي تحديداً (تضييق النبضة).

بعد مسافة معيّنة، وفي وقت ما، فإن الموجة الوحيدة ستتوهّن وتتشتت، وبالتالي ستضعف. إلا أنه باستعمال المضخمات البصرية في الحالة الحرجة للإشارة عبر السلك (أو باستعمال المضخم التوزيعي الليفي)، فإنه بالإمكان الحفاظ على قوة النبضة.

يلخص الشكل 9-2 الإنجازات الأساسية لمعدل البث بالنسبة

إلى المسافة (Key Bit Rate / Distance) في اختبارات مخبرية. وقد بات ممكناً إرسال الجيغابت المتعددة عبر مسافات دولية باستعمال الليف البصري التشتيتي.



الشكل 9-2 نبضة موجة وحيدة (Solitron) تنتقل عبر الليف البصري التشتتي.

يقوم مبدأ نبضة السوليترون على أنه كلما أصبح طول الموجة الضوئية أقصر تدريجياً، فإن الحافة الخلفية ستتغلب على حافة النبضة الأمامية بسرعة (أي إن الجهة الصاعدة للضوء ستتعرض للانزياح الأحمر أو بتأثير دوبلر الأحمر (Doppler Red- Shift). وأما الجهة الساقطة فستتعرض للانزياح الأزرق، أو بتأثير دوبلر الأزرق (Doppler Blue - Shift).

وسينتج من ذلك قُصراً في عُمر النبضة مع تزايد في الحد الأقصى للقدرة. وعلى الرغم من أن النبضة تخسر الطاقة عبر المسافات إلا أن الحد الأقصى للقدرة يزداد، ما يضمن بأنها ستبقى فوق الحد الأقصى لعتبة الاتساع لليف البصري التشتتي.

9-4 الليزرات والمضخمات

إن استعمال الليزرات في الإلكترونيات البصرية بتزايد، فالمستشفيات تعتمد على الضوئيات (Photonics) لتحسين التصوير

الطبي. كما ويستعمل الليزر بشكل روتيني في كثير من الفحوصات الطبية والعمليات الجراحية.

أما القطاعات الأخرى فتستعمل الليزر لقياس المكوّنات بدقة عالية والاتصالات أيضاً (يمكن استعمالها كذلك لقص الثياب وتلحيم المعدن). ومنذ اكتشافها، فإن التكنولوجيا التي تعتمد على الليزر في تحسن وتطوّر مستمرين. ومن الأمثلة على ذلك:

9-4-1 ليزر موزّعَ من خلال التغذية الارتجاعية

لقد تحقق مزيد من التقدم في تكنولوجيا الليزر مع اكتشاف هذا النوع من الليزر. كما إن أجهزة الاستقبال (PIN-FET) القادرة على استيعاب معدل معلومات عالٍ جداً باتت متوافرة أيضاً. إن جهاز التوزيع من خلال التغذية الارتجاعية (DFB) زاد من كمية قنوات الاتصال الفردية التي يمكن إرسالها عبر الليف البصري. كما إنه قلص عدد الأجهزة المطلوبة لتوليد الإشارة. وقد خفض تطوير المضخمات البصرية إجمالاً من الكلفة، خصوصاً كلفة الوصلات البصرية للاتصالات.

9-4-2 الليزر القابل للتعديل

تحتاج الشبكة التي تستعمل المضاعفة المكثفة بتقسيم الموجة (DWDM) و64 موجة طول مختلفة إلى 64 ليزراً منفرداً في الوقت الراهن. ويبث كل ليزر طول موجة منفصلة يجري فيها تضمين مجرى المعلومات الرقمية. ومن مساوئ هذا النظام أنه إذا تعطل ليزر واحد، فإنه يسبب خسارة الشبكة بأكملها. وبما أن كل ليزر يعمل بطول موجة مختلفة، فإن صيانة هذه الشبكة يحتاج إلى كمية كبيرة من قطع الغيار. علماً أنه لن يستعمل أكثر من نصفها أبداً.

يتمثل أحد الحلول باستعمال الليزر القابل للتعديل (Tunable Laser). ولكن وإن كان هذا يحل مشكلة المعدات وقطع الغيار إلا أنه يزيد من كلفة الشبكة، ويحتاج إلى سعة طيفية أكثر، وإلى طاقة خرج أكبر، بالإضافة إلى أنه عرضة للاوثوقية.

وهناك حلٌ آخر (طورته شركة ساوث هامبتون للضوئيات) يتمثل باستعمال لب الليف المُعامل بالإيربيوم وباليتربيوم (Ytterbium) وباستعمال نمط تدرج براغ (Bragg Grating) المكتوب عليه أنه يعرّف كل طول موجة. وستكون عملية الليزرة (Lasing) في الليف نفسه. وسيخفض هذا الحل من الضوضاء. ويكون ذا جودة عالية، ويزيد من خرج القدرة مقارنة بأجهزة مماثلة. والأهم من ذلك أنه يمكن لمضخة ليزر نصف موصلة أن تشغل هذا الجهاز.

9-4-3 المضخمات والليزرات الليفية المنشطة بمعادن نادرة

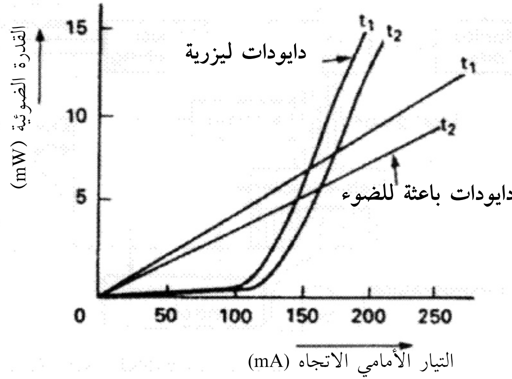
لقد وفّر لنا معالجة الألياف البصرية مفردة النمط بمنشط من أملاح نادرة (Rare-Earth Dopant) أجهزة بصرية سلبية أو ناشطة (Active or Passive Devices) تتضمن خط إدخال في المضخمات الضوئية، ومرشّحات ماصّة، ومجسّات موزّعة. وعلى الرغم من أنها ما زالت في مرحلة الدراسة والبحث فإنها مخضمات ليزرية كاملة.

وقد أظهرت الألياف مفردة النمط المنشّطة بمعادن الأرض النادرة، التي يجري إنتاجها، فاعليتها كمصدر أشعة ليزر مضغوط متعددة الاستعمال. ومن المتوقع أن تستعمل هذه الألياف في كثير من أنظمة التطبيق في المستقبل القريب.

9-4-4 المصدر الليزري المُضمن

على عكس الصمامات الثنائية الباعثة للضوء (LED)، فإن

الصمام الثنائي الليزري، عند تيار منخفض، ينتج طاقة بصرية صغيرة أو لا يصدر طاقة البتة، ولكن عندما يجري تجاوز العتبة الدنيا للتيار، فإن الطاقة البصرية تزداد بشكل كبير كما يظهر في الشكل 9-3.



الشكل 9-3 ميزات الطاقة البصرية مقارنة بالتيار الأمامي لليزرات والصمامات الثنائية الباعثة للضوء.

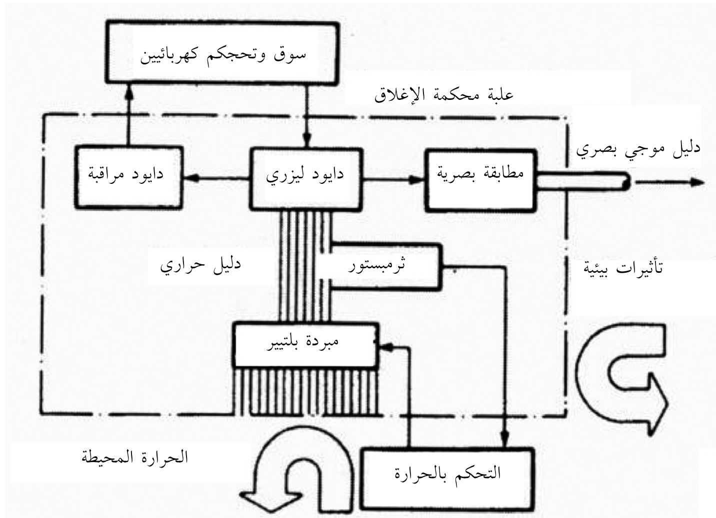
على الرغم من أن الصمام الثنائي الباعث للضوء يفقد القليل من الطاقة البصرية عندما ترتفع الحرارة (حوالى 0.7 في المئة لكل درجة مئوية)، إلا أن الصمام الثنائي الليزري حساس جداً لتغييرات الحرارة، ويؤدي ارتفاع الحرارة حتى لعدة درجات قليلة إلى إيقاف عمل الليزر. ولهذا، فإن امتصاص الحرارة وعملية تثبيت الحرارة على درجة معيّنة أمران مهمان جداً.

ولا بدّ هنا من تذكّر نقطة مهمة هي أن الصمام الثنائي الباعث للضوء قادر على إنتاج كثافة طاقة بصرية (مثلاً 4 واط في السنتمتر المربع) أكبر من الطاقة التي ينتجها الليزر (والتي تكون عادة واط واحد في السنتمتر المربع الواحد). ولذلك، ولضمان انتقال الطاقة القصوى إلى الليف، فمن المهم حماية الصمامات الثنائية الليزرية من العوامل البيئية مثل الغبار والأوساخ والرطوبة... إلخ.

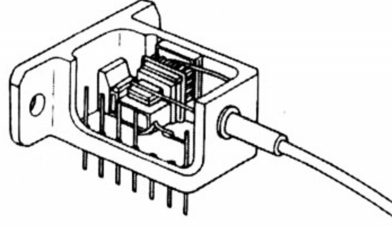
وقد تبين في السنوات الأخيرة أن تغليف الصمام الثنائي الليزري في علبة مغلقة يجري التحكّم بدرجة الحرارة في داخلها، يساعد بشكل فاعل في التغلّب على المشاكل التي يمكن أن تتسبب بها العوامل البيئية.

كما إنها طريقة ممتازة تضمن تقليص كمية الفَقْد في نقاط الوصل بين المصدر الليزري والليف البصري.

ويظهر الشكل 9-4 مثالاً نموذجياً للصمام الثنائي الليزري المُغلّف. وتقاس الحرارة الداخلية للعلبة التي يوضع فيها هذا الصمام من خلال مقاوم ثيرمستور (Thermistor) (ملصق في القطعة الماصة للحرارة في الليزر)، وبالتالي يمكن من خلالها التحكم بجهاز بلتيير للتبريد (Peltier Cooler) الذي يضمن إبقاء الصمام الليزري عند درجة حرارة ثابتة.



الشكل 9-4 رسم تخطيطي يظهر الصمام الثنائي الليزري المرزوم بإحكام داخل علبة.



الشكل 9-5 يمثل صورة بتراء تظهر صمام المراقبة الثنائي، والصمام الثنائي الليزري، والمقاوم الثيرمستور، وجهاز بلتيير للتبريد (في الخلفية).

لتقليص كمية الفَقْد بسبب التطابق يجري عادة إكمال نقطة الوصل عند سطح الصمام الثنائي الليزري والليف البصري داخل العلبة، ويجري إخراج جزء صغير من الوصلة إلى خارج العلبة لوصل دليل الموجة البصري.

يمكن إنتاج تيار بصري بواسطة الصمام الثنائي للمراقبة باستخدام الضوء المنعكس في المرآة الخلفية الذي يجري تلقيمه في أداة تحكم كهربائية ودارة محركة لتأمين قدرة تحكم بصرية خارجية متغيرة.

9-5-4 المضخم الليفي المنشط بمادة الإيربيوم

لقد أنتجت شركة ساوث هامبتون للضوئيات ما أسمته الجيل الجديد من المخضمات الليفية المنشطة بمادة الإيربيوم. وباستخدام هذه التكنولوجيا تتكامل ثماني مضخمات في علبة واحدة، وتستخدم كلها مضخة ليزرات مشتركة. ويؤمن هذا المضخم متعدد الفتحات كسباً (Gain) لثماني إشارات مستقلة عن بعضها، مثلاً ثماني قنوات مضاعفة مكثفة لتقسيم الموجة (DWDM).

9-5 الكابلات الليفية

كما هو الحال في الأسلاك الكهربائية المفردة التي لا تستطيع أن تتحمل كل البث الكهربائي المطلوب، فإن الليف البصري المفرد

أيضاً لا يمكن تأهيله ليتحمل كل البث البصري المطلوب. وتعكس الميول الحالية باتجاه ألياف متخصصة تحسن وعي المستخدم وفي ما يأتي بعض من هذه التطويرات الأخيرة:

9-5-1 عودة الألياف متعددة الأنماط

إن كل المستخدمين والمصنعين على حد سواء يتوقعون عودة استعمال الألياف المفردة النمط وبخاصة في التطبيقات العسكرية.

9-5-2 الألياف مفردة النمط ذات الكسوة المشكلة

أنتجت شركة كورتينغ، في أوائل التسعينيات من القرن العشرين، نوعاً جديداً من الألياف مفردة النمط ذات غشاء مُطابق وتصميم معامل تدريجي، ما أعطى مقاومة أكبر للثنيات صغيرة الحجم وقلّص كمية الفَقْد الناتجة منها وحسّن أداء الليف.

وقد كانت كمية الفَقْد بسبب التوهين أقل من 0.5 دسيبل في الكيلومتر الواحد على موجة بطول 1300 نانومتر و1550 نانومتر. وقد جرى تحسين عملية التصنيع بشكل كبير خلال العام 2000 وأصبحت هذه الألياف معروفة بأنها ذات كلفة أقل لبث معدل بت أكبر من 6 ميغابت في الثانية ولمسافات أكثر من 3 كلم.

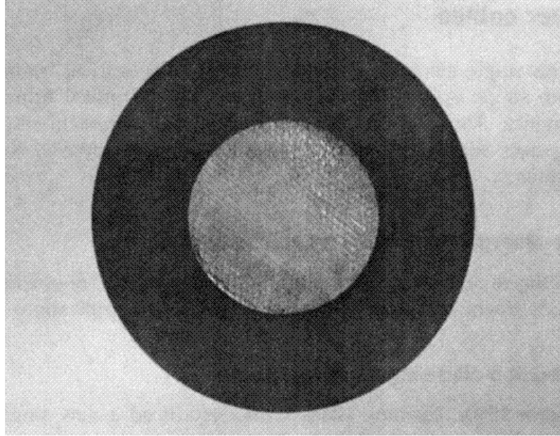
9-5-3 الألياف متعددة الألباب

مقارنة بالأسلاك النحاسية التقليدية، فإن للألياف البصرية قدرة أكبر على حمل الإشارة. غير أنه على الرغم من أنه يمكن ثني الألياف إلى حد ما فإنها هشة جداً وليست لينة أو مرنة.

إن الزجاج مادة ضعيفة بطبيعتها، وبخاصة في الكميات

الموجودة في الألياف البصرية. ولهذا السبب يجب وضع أدوات لإزالة الجهد عن الليف أو إطارات كبيرة في ممرات الأسلاك لمنع حصول كسر في الليف. وبسبب هشاشة الزجاج يجب حماية الأسلاك من أي نوع من الضرر الناتج من الاصطدام والتمزق. كما يجب أن ينتبه المصممون لهذه المسائل عند وضع مخطط أولي للأنظمة التي تستعمل الأسلاك الليفية البصرية. وعادة ما يلجأون إلى حلول باهظة مثل الأسلاك ثقيلة الدرع، أو يلجأون في أسوء الحالات إلى الموصلات النحاسية.

وتعتقد شركة كيينس فرع بريطانيا (Keyence UK) أنها وجدت الحل، إذ إن لليف التقليدي عادة لباً واحداً. إلا أن هذه الشركة صنّعت ليفاً ذا 217 لباً، يبلغ قُطر كل منها 66 ميكرومتراً (الشكل 9-6).

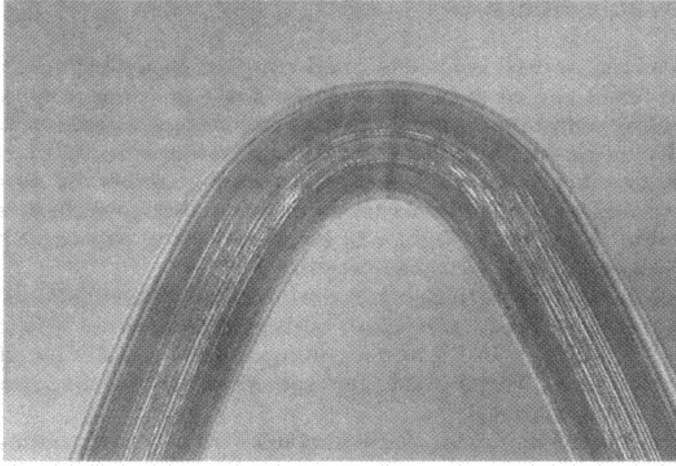


الشكل 9-6 ليف متعدد اللب يؤمن حماية إضافية (تقدمة شركة كيينس اليابان).

تسمح فكرة الليف متعدد اللب لليف بأن ينثني لدرجة أكبر، أي بنصف قطر 2 ملم (الشكل 9-7). كما إن هذا النوع مقاوم للمخاطر التي قد تُلحِق ضرراً في بدن الليف.

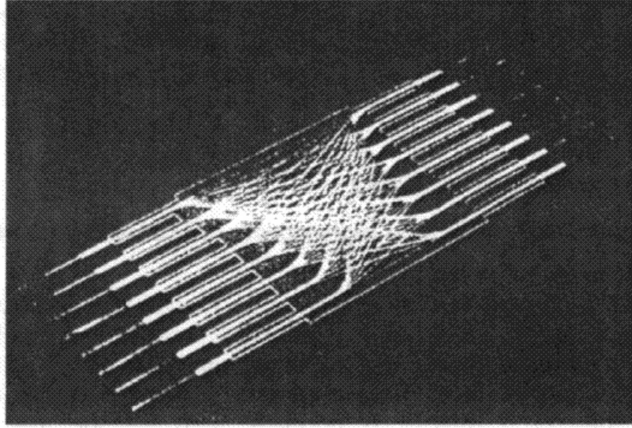
9-5-4 الألياف المغلّفة

تحتوي دارة الليف البصري ($LIGHTTRAY\ OFX^{TM}$) من شركة تايكو للإلكترونيات (الشكل 9-8) على عدد من الألياف البصرية المغلّفة بركائز غشاء حافظ.



الشكل 9-7 انصاف أقطار الثني النمطية التي يمكن أن يتحملها الليف متعدد اللب (تقدمة شركة كيينس، اليابان).

لا توفر دارة الليف البصري الظاهرة في الشكل 9-8 المساحة فقط، بل تؤمن أداءً جيداً أيضاً. وتعمل في درجات حرارة تتراوح بين 25 درجة مئوية تحت الصفر و80 درجة مئوية فوق الصفر. ويعادل هذا الليف البصري الدارة النحاسية، ويسمح بتقاطع الألياف من دون أي خلل في الأداء، ولديه كمية فقد إدخال قليلة (أقصاها فقد بحوالى 0.1 دسيبل. علماً أن كمية الفَقْد الاعتيادية هي 0.05 دسيبل).



الشكل 9-8 دارة ليف بصرية.

9-6 الألياف المتحركة

كما تكلمنا عن الموصّلات والمقرنات العادية في الفصل السادس، فمن الممكن في الوقت الحاضر استعمال الألياف المتحركة كأساس للموصّلات، والمحوّلات، ومُقسّمات الموجة (Demultiplexers) ومقاييس التداخل (Interferometers).

تعمل هذه التكنولوجيا باستعمال مشغل الإجهاد الضغطي (Piezoelectric Actuator) لربط جهتي الموصّل ببعضهما بدلاً من تحريك الليف في كل مرة. وبتحريك الليف قليلاً عن الليف الآخر يشكل الفراغ الذي سيتكوّن بينهما تجويفاً يُعرف بتجويف فابري - بِروت (Fabry - Perot Cavity). وسينتقل الضوء إذا استجابت الفجوة إلى طول موجة واحدة (أو طول موجة ونصف).

وتسمح تقنية مضاعفة تقسيم طول الموجة (WDM) الحالية بتباعد في المسافة مقداره 0.8 نانومتر بين قنوات موجة تبلغ 1.55 ميكرومتر (على الرغم من أن سعة الموجة لقناة واحدة هي بين 0.1 إلى 0.2 نانومتر). ويفسح هذا مجالاً لاحتواء مجموعة كثيفة في

المستقبل. ويمكن استعمال تغيير حجم الفجوة بين الليفين لفصل قنوات المعلومات بشكل فردي.

ومن المتوقع أن يزيد استعمال هذه التقنية كوصلات قابس - مقبس (Plug - Socket) من وثوقية استخدامها قياساً بسابقاتها. كما إنها ستؤمن الكثير من التطبيقات في الشبكات المحلية. إضافة إلى ذلك، وبسبب وزنها الخفيف وقابليتها على مقاومة الحرائق وغير ذلك، فإن استخدامها كوصلات بصرية في السيارات وغيرها سيتعزز كثيراً.

9-6-1 الناقل البصري

يمكن تطبيق مبدأ التضخيم التوزيعي مع التنشيط بمادة الإيربيوم في ناقل المعلومات (Data Bus). مثلاً، جرى تطبيق المكافئ البصري (Optical Equivalent) لناقل بصري باستعمال مقِرنات الليف (D-Fiber Couplers) في شبكة ليف ضعيف التضخيم. ومع أن تراكم الضوضاء سيهيمن في النهاية، إلا أن ناقلاً بصرياً كهذا يمكن أن يلبي حاجة ما يزيد على 1000 نقطة.

إن هذا الناقل، مع قِرنه بإمكانية استعمال مضخمات ليفية للتغلب على الفَقْد الناتج من الموزع، يفتح باباً لإمكانية الحصول (افتراضياً) على شبكة خالية من أي نوع من الفَقْد (VLON)، سواء أكانت شبكة مدينية، أم شبكة على صعيد البلاد، أم شبكة عالمية.

9-7 أنظمة الإرسال

9-7-1 أساليب التطوير في أنظمة البث البصرية ذات الترتيب العالي

في السبعينيات من القرن العشرين، كان البحث ناشطاً عن

إمكانية زيادة سعة البث بمعدل 34 ميغابت في الثانية وفي العام 1979 قامت شركة دتش بندسبوست (Deutsch Bundespost) بافتتاح وصلة طولها 15 كلم بين فرانكفورت ـ جينهايم (Frankfurt - Ginnheim) ومدينة أوبرورسل (Oberusel).

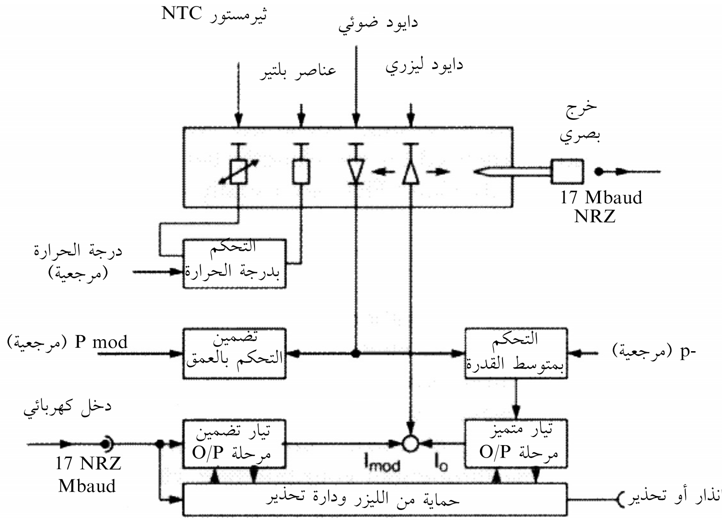
في التصاميم الحديثة للأنظمة يستعمل عادة معدل إرسال من 8 ميغابت في الثانية إلى أول نافذة إرسال بصرية (بين 840 و880 نانومتر). وفي بعض الأحيان عند طول الموجة البصرية الثانية (1300 نانومتر). ومن أجل تحقيق الحالة المثالية يستعمل الصمام الليزري كمُرسل لنظام ذي معدل بث 8 ميغابت في الثانية. وأما في جهاز الاستقبال، فعادة يستعمل الصمام الثنائي لتيهور الجسيمات (Avalanche Photodiode). وتُستعمل عادة أنظمة ذات معدل إرسال 8 ميغابت في التطبيقات كناقل فرعي للبدّالات الرقمية، والتخابر عبر الفيديو، وإرسال المعلومات... إلخ. وعندما يكون هناك حاجة إلى سعة بث أكبر تُستعمل الألياف مفردة النمط أو الألياف ذات المعامل المتدرج.

كلما ازدادت السعة الموجية قلّت كمية الفَقْد في الليف. وبما أن الألياف ذات المعامل المتدرج (Graded Index Fibers) مناسبة لمعدلات بث تبلغ 8، و34، و140 ميغابت في الثانية، إلا أنه عندما يزداد معدل البث إلى 560 ميغابت في الثانية، تستعمل الألياف مفردة النمط (التي تعمل على موجة بطول من 1300 نانومتر).

9-7-2 أجهزة الإرسال والاستقبال

تجري الدراسات الآن لتطوير أنظمة قادرة على العمل في مدى من الجيغابت في الثانية الواحدة وعند أطوال موجة تفوق الـ 1500 نانومتر.

لقد حصل خلال السنوات الماضية القليلة عدد من التغييرات الجذرية لأنظمة البث، ونتج منها تحسينات واسعة لكل من أجهزة الإرسال وأجهزة الاستقبال. مثلاً نظام إرسال 8 ميغابت في الثانية المبين في المخطط الأصم في الشكل 9-9، يستعمل طيف الانبعاث متعدد الأنماط لصمام ثنائي ليزري ذي شريط أكسيد زرنيخيد ألمنيوم الغاليوم (GaAlAs Oxide). ولضمان ثبات عمل الليزر، يوضع جهاز بلتير للتبريد ومجسات حرارية في حاوية الليزر المحكمة الإغلاق.



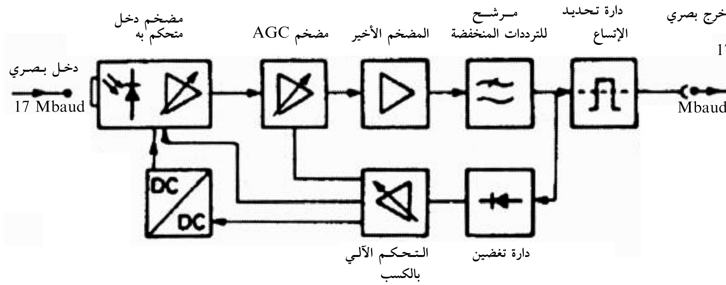
الشكل 9-9 رسم تخطيطي لفعالية جهاز إرسال بصري.

كذلك تحتوي وحدة الليزر على دارة محركة (Drive Current)، تستعمل لإعادة توليد سعة الإشارة وتأمين تيار التضمين للصمام الثنائي الليزري. ويعتبر الانحياز لتأخير تشكيل النبضة الضوئية مقارنة بنبضة التيار المحرك أمر طبيعي أيضاً.

يجري تحقيق تعديل عمق التضمين والطاقة البصرية من خلال إطارات تحكم (Control Loops) ودارة إنذار تضاف إلى الوحدة

لتضمن أن الصمام الثنائي الليزري لا يتعرض لحمولة زائدة.

وفي الناحية الأخرى، يستعمل جهاز الاستقبال الصمام الثنائي لتيهور الجسيمات (Avalanche Photodiode) ليحول الإشارة البصرية التي جرى تلقيها إلى إشارة كهربائية. ويجري تحويل نبضات تيار الصمام الثنائي الضوئي إلى نبضات فولتية من خلال تضخيم مسبق بالتحكم بالكسب، ويسمى مضخم مقاومة المعاوقة (Transimpedance Amplifier). ويتبعها مضخم ترانزستور التحكم بالتوصيل المزدوج الفتحات (Dual-Gated Field Effect Transistor FET). ويقوم مرشح للترددات المنخفضة بتحديد الموجة. ويظهر جهاز الاستقبال البصري هذا في الرسم التخطيطي في الشكل 9-10.



الشكل 9-10 الرسم التخطيطي لجهاز التلقي البصري.

من الشائع أن تجد صماماً ثنائياً ذا وصلة ثلاثية (PIN Diode)، وترانزستور التحكم بالتوصيل (FET)، والترانزستور ذا قطبين متكاملين في سطح ركيزة سيراميكي.

ويستعمل عادة الصمام الثنائي التيهوري المصنوع من الجرمانيوم عند أطوال موجة بين 840 و880 نانومتر. وأما الصمام الثنائي ذو الوصلة وترانزستور التحكم بالتوصيل المصنوع من زرنيخيد الغاليوم (GaAs)، فيستعمل لأطوال موجة 1300 نانومتر.

9-7-3 الإرسال من دون ألياف

إن في استعمال الألياف البصرية لأهداف الاتصالات محاسن عديدة وذلك لقدرتها على حمل كمية هائلة من المعلومات. كما يمكن جعل الشبكات المحلية، بشكل افتراضي، قابلة للتوسع المستقبلي من خلال زيادة سعة الموجة المتاحة إلى حدها الأقصى فيما تترك البنية التحتية للشبكة في الوقت نفسه دونما تغيير. وهذا طبيعي، طبعاً، شرط أن يكون لديك ألياف بصرية مدّت في مبناك. ويمكن أن يكون تركيب شبكة بصرية بناءً على توقعات معدل النمو مكلفاً لكثير من الأعمال التجارية.

أطلقت مختبرات بل (Bell Labs) خلال العام 2000 نظاماً بصرياً اسمه أوبتك إير (Optic Air) يستعمل التكنولوجيا نفسها التي تستعملها شبكة الألياف العادية، إلا أنها تبث الفوتونات في الهواء الطلق. ووفقاً لكاثي زيليغ (Kathy Zheleg)، نائب مدير التسويق لمجموعة لوسنت للشبكات البصرية، فإن 5 في المئة فقط من المباني في الولايات المتحدة الأميركية لديها شبكات ذات ألياف بصرية.

وكما هو الحال في سعة ذاكرة الكمبيوتر حيث يزداد الطلب على سعة ذاكرة أفضل باستمرار، فإن المعلومات التي يجري تناقلها في الشبكة تزداد مع الوقت، ما يعني أن هناك حاجة لسعة موجة أكبر، وبذلك يزداد الطلب عليها باستمرار.

يستعمل نظام الأوبتك إير الليزرات نفسها التي تُستعمل في الوصلات الليفية وعلى موجة بطول 1550 نانومتر، ولكنه يستعمل تقنيات بصرية خاصة لتقليص كثافة الطاقة.

وتدّعي شركة لوسنت للتكنولوجيا أن هذا النظام يمكّننا من الحصول على خط رؤية يوفر اتصال نقطة إلى نقطة ضعفي ما تُوفّرُهُ الوصلة العادية في الظروف نفسها.

ويقول الخبراء في لوسنت إن هذا النظام يستعمل أحدث التكنولوجيات المتوافرة بالليزر، وبالمضخمات وبأجهزة الاستقبال التي يمكن وضعها على أسطح المباني، أو في نوافذ المكاتب لبث الإرسال الصوتي أو الفيديوي أو البياني من نقطة إلى أخرى عبر الهواء. كما إنها تستعمل تقنية تكثيف المضاعفة بتقسيم الموجة (DWDM) لتزيد من سعة الشبكة في المدن أو المجمعات حيث تكون الكلفة، والجغرافيا، والقيود الأخرى أموراً تعيق استعمال الليف البصري.

بما أنه لا يوجد حاجة إلى الحصول على رخصة لتشغيل وصلة اتصال عبر الهواء الطلق، إلا أن هناك قواعد لبث ضوء الليزر عبر المدينة. ولمراعاة القوانين الأميركية والبريطانية، يجب أن تُقلّص كثافة الطاقة لهذا النظام إلى أقل من 100 ملي واط في السنتمتر المربع باستعمال عدسة تسبب انتشار الضوء عند النقطة التي تخرج منها الإشارة في جهاز الإرسال، وذلك لتقسيم الشعاع إلى قسمين عند خروجه من هذه النقطة. وهذا عكس ما يحصل في مشكّل الشعاع الليفي التقليدي (Traditional Fiber Beam Former) الذي يُركز طاقة الليزر ليزيد من المسافة بين مكرر وآخر. ولن يسبب الشعاع المتباعد والطاقة المنخفضة العمى للمستخدم إذا ما نظر إلى المصدر الضوئي في جهاز الإرسال. ولأن هذا النظام مصمم للمسافات القصيرة، فإن تقليص كثافة الطاقة لن يتسبب بمشكلة تُذكر.

يمكن استعمال نظام الأوبتك إير في عدة تطبيقات محتملة، ومنها بث المعلومات بين المباني الشاهقة. كما إنه يسمح للسفن البحرية بتبادل كمية كبيرة من المعلومات، وتكوين موصلات معلومات عالية السعة للاستخدام في المناسبات الخاصة.

9-7-4 الأثير الضوئي

لقد جرى تطبيق مبدأ «الأثير الضوئي» الذي يستغل سعة الليف بالطريقة نفسها في طيف الراديو في المختبر بعدد من الأجهزة القادرة على تحويل سعات ذات حجم 100 جيغابت في الثانية. وأظهرت دراسات مماثلة أنه يمكن توسيع هذا المنحنى لاستبدال النظام بنظام آخر يصل إلى 200000 خط وذي قدرة مقاومة للمنع (Non-Blocking) تصل إلى 100 في المئة، بالإضافة إلى إمكانية تحسين النظام ليصل إلى أربعة ملايين خط. وبمستوى الخدمات الحالية ومستويات مشابهة من منع (Blocking) الخدمة أو التخابر، فإنه بالإمكان توفير 20 مليون خط إضافي مع إمكانية توفير أكثر من ذلك. ومستقبلاً ستصبح الحاجة إلى نظام تحويل ذي مستوى أفضل ضرورية إذا تعدى التحميل هذا المستوى.

تكمن المشاكل الأساسية والتحديدات الحالية في توفير أجهزة إلكترونيات بصرية ذات كفاءة وجودة عالية، وذات سعة ذاكرة، وأنظمة تحكم ومعايير طول الموجة. وبناءً على ذلك، فإن تصميم هذا النظام للاستخدام التجاري لن يتحقق قبل عام 2010.

9-7-5 الراديو البصري

تثير الشبكات الشفافة الاهتمام عندما يتعلق الأمر بحركة المُستخدِم، إذ إنه من الممكن نقل إشارات موجية ميكروية عبر الليف باستعمال تحويل التردد ذي مرحلة واحدة عند كل طرف. ولذلك بإمكاننا نسخ خلية راديو وبثها إلى عدة مواقع بعيدة ومختلفة توهم عند تلقيها بأنها تبث إلى موقع واحد فقط. وبالتالي فإن ستة مواقع مختلفة لشركة ما تظهر كأنها موقع واحد بالنسبة إلى المستخدم.

تزداد احتمالات استعمال هذا المبدأ مع تطور الاتصال البصري اللاسلكي داخل المباني وفي الشارع لكل من خدمات الهاتف والموجة العريضة.

9-8 في الصناعات

لقد زاد الاستعمال المتنامي للإلكترونيات ميكروية في لوحات التحكم في المصانع من معدل الإرسال بشكل عالٍ جداً في الأنظمة التي تستعملها المصانع. والمشكلة، طبعاً، مع معدل الإرسال العالي جداً هي الحاجة إلى إرسال فولتي منخفض، وهذا هو أحد الأسباب الذي جعل المصانع تتجه إلى استعمال الألياف البصرية. وبعض هذه التطبيقات مفصل بما يأتي:

9-8-1 تحديد موقع التسرّب

صمّمت شركة وايتمان كونترولز (Whiteman Controls Corporation) الأميركية طريقة لمعرفة التسرب في أنظمة أنابيب مزدوجة السماكة تحتوي على سوائل خطيرة وطبقتها. وتعتبر النظرية بسيطة جداً، غير أنها فعّالة جداً، تشمل استخدام عدد من مجسات الضغط توضع عند مسافات معيّنة في الأنابيب. وتربط هذه المجسات بموصّل كهربائي بصري يمرر الضوء في ليف بصري نحو جهاز إلكتروني بصري موضوع على بعد كيلومترين أو ثلاثة كلم من المنطقة الخطيرة.

9-8-2 التحكم بالحرارة بمثقاب الليف البصري

جرى تصميم هذه التقنية من قبل أنظمة فانزيتي (Vanzetti) للاستعمال في التثقيب التصفيحي للوحات الدارات المطبوعة (Printed Circuit Board Laminate Drill Bits).

ويجري وصل قطعة استشعار بصري للأشعة فوق الحمراء بكابل ليف بصري يوجّه مباشرة نحو المثقاب لقياس حرارته. إن قطعة الاستشعار البصرية هذه قادرة على استشعار حرارة المثقاب في حال ازدادت (بسبب الضعف أو تكرار الاستخدام)، ومن ثم يتم نقل المعلومات على شكل إشارة، إلى دارة إنذار عبر كابل الليف البصري.

9-8-3 مكواة لحام ليفية بصرية

على الرغم من أن الفكرة ما زالت قيد الدراسة، إلا أنها طريقة متقدمة جداً للاستعمال في أعمال الصيانة وفي المختبرات أيضاً.

9-8-4 الكومبيوتر البصري

إن أسرع كومبيوتر في العالم هو بي. بي. سي. أندروميدا (BBC Andromeda)، ولكن حتى هذا الكومبيوتر يعتمد على معالجة المعلومات معلومة تلو الأخرى، وعلى الوظائف التسلسلية لإتمام عمله، ما يحد من قدراته إلى درجة كبيرة. وبإمكان الضوء أن يبث مئات الأنماط بشكل متوازٍ، دون أن تتداخل مع بعضها بعضاً، وفي أواخر التسعينيات من القرن العشرين، قامت شركة أس. دي. آي الأميركية (American SDI) بتقصي إمكانية تطوير جهاز تحويل بصري (Optical Switch). وكانت هذه الخطوة الأولى نحو الكومبيوتر البصري التي يمكن تحقيقها من خلال مضاعفة (Multiplexing) كثير من الإشارات مع بعضها بصرياً، ومن ثم تحويل قناة معلومات أو عدد من هذه الأقنية بشكل متوازٍ.

وكما وصفها دايفد لارنر في مجلة **نيو إلكترونيكس** (New

(Electronics في آب/ أغسطس من عام 1999، فـ «إن المعدات البصرية الأساسية تقع ضمن مجموعتين: المعدات التي تبعث الضوء، والمعدات التي تستشعره. وهناك مجموعة ثالثة من المعدات البصرية، وهي المعدات التي توجه الضوء. ومنذ اكتشاف البلورة غير الخطية (Non - Linear Crystal) التي لديها القدرة على تغير معامل انكسارها عند تعريضها لحقل كهربائي حلم العلماء ببناء الكومبيوتر البصري.

لقد وضعت دراسة متقدمة جدولاً زمنياً مدته عشر سنوات لبناء كومبيوتر خارق ذي نظام تبلغ سرعته ألف مرة سرعة تقنية الكومبيوتر الخارق الحالي التي تعتمد على مبدأ تعدد المهمات (Multithreading Technology) الهجينة. وسيُبنى المعالج المركزي في الكومبيوتر البصري من دارات منخفضة الحرارة مفرطة الموصلية (Low Temperature Super Conducting Circuits). وستستخدم ذاكرة الـ RAM السريعة جداً ورقاقات الـ CMOS المبردة بالنيتروجين السائل. وسيكون جهاز الربط البيني للنظام بصرياً وليس كهربائياً، وستؤمن البلورات غير المتجانسة ثلاثية البعد مجسماً هولوغرافياً لتوفير سرعة المعلومات وخزنها أيضاً. وبالإضافة إلى ذلك، فيجري ربط المعدات غير المتجانسة لهذا النظام من خلال برمجية ثورية تقوم بربط المهَمّات المنفذة (Threaded Execution)، ومعالجة تدفق المعلومات (Data FLow Processing) والبرمجة الكائنية التوجه (Object Oriented Programming).

تبقى الكومبيوترات البصرية، في الوقت الحالي، مجرد حلم، وذلك أن العناصر المشغّلة لهذه الكومبيوترات، مثل القلاب (Flip Flops) وأقفال الأمان، تأخذ مساحة أكبر من العناصر المشغّلة التي تُستعمل في الأجهزة الكهربائية. وثانياً، بسبب اعتماد تقنية تحويل

الإشارة البصرية على المرايا الممكنة، فإن حجم هذه المرايا يحد من سرعة التحويل.

9-8-5 المضاعفات البصرية

من المستغرب أن المادة المستعملة لصنع الليف البصري هي مادة السليكا، في حين أن المادة المستعملة في العزل (Insulation) عند تصنيع الدارات المتكاملة هي ثاني أكسيد السليكون (SiO_2). ولم تغب هذه الحقيقة عن بال الباحثين في أنحاء العالم، وباتت إمكانية بناء مضاعفات بصرية باستعمال تقنيات إنتاج أشباه الموصلات قيد الدراسة.

9-8-6 العازلات البصرية

توفّر هذه العازلات حلولاً غير مكلفة. ولا تحتاج إلى مساحة كبيرة، فضلاً عن أنها سهلة الاستعمال، عند الحاجة إلى عزل الفولتية العالية. ويمكن عزل دارة الإدخال كهربائياً عن دارة خروج الإشارة بما يصل إلى 7500 فولت كحد أقصى تفاضلي حين التصميم الحذر للوحات الدارة المطبوعة (PCB).

9-8-7 المحوّلات أو المفاتيح الإلكتروبصرية

وتعمل على مبدأ أن المادة المعتّمة للأشعة فوق الحمراء تعرقل بث الضوء بين الصمام الثنائي الباعث للأشعة فوق الحمراء وجهاز استشعار الضوء المصمم لتحسس المواد العاكسة للضوء في نقطة استجابة معقولة. تؤمن المحولات البصرية الاستشعار الخطي للضوء عند حركته الدائرية، كما إنها تُستعمل في عدة تطبيقات، مثل الطابعات، وأجهزة النسخ، والموازين، وفي أدوات القياس والوزن، وفي معدات المركبات الآلية وأدوات التسلية. وعلى عكس الحلول

الميكانيكية التقليدية، لا تتعرض المحولات البصرية للتآكل والعطب بسهولة. ويمكن تركيبها مع دارة التحكم الكهربائية.

9-8-8 المحوّلات البصرية فائقة السرعة

قام الباحثون في جامعة غلاسكو (Glasgow) بتطبيق محول بصري فائق السرعة مؤسَّس على دليل موجة شبه موصل. ويدعي الباحثون الإسكتلنديون أنه يمكن لدليل الموجة المصنوع من زرنيخيد غاليوم الألمنيوم أن يحمل نبضات ضوئية في أقل من 10 بيكو ثانية (Pico Seconds) ويمكن أن ينتج منه طريقة لوضع نظام بصري للتخابر قادر على حمل 1.2 مليون مخابرة في الوقت نفسه.

وفي ناحية أخرى، قام العلماء في مختبرات بل ببناء محول بصري ميكروسكوبي فائق الصغر يعمل مثل أرجوحة يمثل أول تكنولوجيا تحويل بصرية تستعمل الأنظمة الإلكتروميكانيكية الميكروية (Micro Electromechanical Systems - MEMS).

إن الأرجوحة في المحولة الاختبارية عبارة عن قضيب متحرك على محور ومرآة مطلية بالذهب في طرف واحد.

يحتل الطرف الذي تركب فيه المرآة، بين ليفين بصريين، مساحة حجمها حوالى عُشر عَرض شعرة الإنسان.

عندما يَكون جهاز التحويل مطفئاً (Rest Position)، فإن المرآة تكون تحت مستوى لب الليفين، ما يسمح للضوء بالعبور من ليف إلى آخر. وعندما يتم تشغيل المحولة ـ المفتاح، يَتعرض طرف القضيب الآخر المتحرك على المحور إلى طاقة كهربائية مستقرة كافية لرفع المرآة عن موضعها لتعكس الضوء بعيداً عن لب الليفين. وتُبنى أجهزة الأنظمة الإلكتروميكانيكية الميكروية بالطريقة نفسها التي تبنى

فيها الدارات المتكاملة باستعمال أغشية مختلفة، مثل السليكون المتعدد (Polysilicon) ونتريد السليكون، وأكسيد السليكون، والذهب، يجري ترسيبها نمطياً لتشكل بنية ثلاثية الأبعاد متعددة الوظائف. والفرق الأساسي هو عتبة التفريغ (Release Step) في نهاية عملية التصنيع.

9-9 الاستعمالات العسكرية

أصبحت تكنولوجيا الألياف البصرية، وأشباه الموصلات، وتكنولوجيا الليزر، في أوائل الستينيات من القرن العشرين، مثيرة للاهتمام خصوصاً في التطبيقات العسكرية التكتيكية والاستراتيجية. وقد كانت المؤسسات العسكرية مهتمة دوماً بإشعاع الطاقة من وسائط إرسال، وحساسية أنظمة الاتصالات للأشعة الكهرومغنطيسية عالية القدرة، بخاصة الصادرة من الأسلحة النووية. ولسوء الحظ، فإن عاملَي الكلفة وانعدام الثقة في الجودة والأداء حدّتا من تعميم استعمالها عسكرياً على نطاق واسع. ومع ظهور تقنيات تصنيع غير مكلفة، وازدياد جودة ووثوقية هذه التقنيات، عمدت المؤسسات العسكرية إلى تطوير الأنظمة السلكية النحاسية باستعمال أسلاك الليف البصري، وكذلك توسيع الشبكات المحلية وشبكات الخدمات المتكاملة الرقمية (ISDN).

وعملاً بهذا النهج، تقوم القوات الأميركية في جمهورية كوريا الجنوبية باستبدال نظام الموجات الميكروية بنظام الألياف البصرية مفردة النمط للبث.

9-9-1 الصاعق الليزري

نشرت الجريدة الأسبوعية **جينس ديفينس ويكلي** (*Jane's*

(*Defense Weekly*) بعددها في أيار/ مايو من عام 1998 أن الوكالة الأميركية للبحوث المتقدمة في شؤون الدفاع (Defense Advanced Research Project Agency - DARPA) والمؤسسة الوطنية للعدالة (NIJ) قد طوّرتا تكنولوجيا متقدمة (يسعون إلى تعميمها تجارياً في عدة نطاقات) تسمى الصاعق الليزري، وهي جهاز يمكن استعماله في النطاق العسكري كسلاح غير فتاك.

ويجري حالياً وضع هذه التكنولوجيا ضمن مصباح يدوي ذي طاقة 250 ملي واط وضوء ليزر أخضر اللون ذي طول موجة 532 نانومتر. ويتضمن جهاز الصاعق الليزري هذا ليزر مصغراً ومصدر طاقة ينتج ضوءاً يجعل من الليزر غير الضار بالعيون ضوءاً يعمي الأبصار. ويمكن لهذا الضوء أن يخترق الدخان والضباب بمسافة تصل إلى أكثر من ضعفي مسافة الضوء الأبيض.

تعتقد كل من الوكالة الأميركية للبحوث المتقدمة (DARPA) والمؤسسة الوطنية للعدالة (NIJ) أنه يمكن استعمال هذه التكنولوجيا في الأمن العسكري، والأمن الداخلي، وفي مواجهة أعمال الشغب، وفي المراقبة والاستطلاع تحت سطح الماء.

9-9-2 الرقاقات البصرية البلاستيكية

تستخدم معظم الشبكات البصرية حالياً تكنولوجيا مضاعفة تقسيم الموجة (WDM). ويستوعب كل نظام عدداً كبيراً من أطوال الموجة البصرية. وقد جرى تضمين كل نظام وتحميله بالمعلومات. ولتحميل المزيد من أطوال الموجة المضمنة والحاملة للمعلومات في الليف نحتاج إلى جهاز مثل الرقاقات البصرية للسماح بتضمين مكونات كل طول موجة عند سعة موجية أعرض وباستعمال طاقة إشارة قليلة.

وكما ورد عن AFCEA (مجلة *Signal* عدد تموز/ يوليو 2000) أنه بالإمكان استعمال مضمّن إلكتروبصري مصنوع من البوليمر (يستطيع أن يضع المعلومات الإلكترونية على ناقل بصري ليُبث عبر شبكة ألياف بصرية) يزيد من السعة الموجية لشبكات الألياف البصرية ويفتح الطريق أمام التطبيقات مثل الوصول إلى الإنترنت عبر الموجة العريضة، والتسليط الهولوغرافي الذي نراه فقط في برامج الأفلام التلفزيونية الخيالية. وقد طُور هذا المضمّن بالاشتراك مع علماء من جامعة جنوب كاليفورنيا في لوس أنجلوس، وجامعة واشنطن في سياتل. وتستعمل هذه التكنولوجيا طاقة أقل من المضمّنات الحالية ولديها كمية ضوضاء أقل.

لقد استطاعت الجامعات، وبنجاح، إدخال المواد البوليمرية في أشباه الموصلات. وجرى تحقيق ذلك في كلتا حالتي التكامل الأفقي والعمودي، إذ وضعت دارة بوليمرية إلكتروبصرية فوق الرقاقات الإلكترونية على نطاق واسع. وتتضمن عملية التصنيع وضع طبقة بوليمر معالجة ذات سطح بصري عالي الجودة فوق الرقاقة. وتقوم تقنيات نقش أيوني تفاعلية بعملية الربط البيني العميقة.

يمكن تطبيق تقنية النقش هذه مع تقنية النقش الأيوني المظلّل أو النقش بحسب ميزات اللون لبناء دارة بصَرية ناشطة/ أو دارة متكاملة عمودياً ثلاثية الأبعاد تسمح ببناء دليل موجة بصرية لكي يربط بشكل عمودي بين طبقات الرقاقات المختلفة.

إن التكنولوجيا المنافسة لأجهزة البوليمر هي تكنولوجيا نيوبات الليثيوم (Lithium Niobate). وهي تكنولوجيا بلورية استعملت منذ عقود وما زالت تستعمل. إن المضمنات المصنوعة من نيوبات الليثيوم محدودة السرعة (بين 10 و20 جيغابت في الثانية). وتحتاج كل واحدة منها إلى فولتية تشغيل تبلغ بين 4 و5 فولت، بينما تحتاج المضمنات

البوليمرية إلى أقل من فولت واحد تتراوح سرعته بين 40 و80 جيغابت في الثانية. وينتج من الاستهلاك الخفيف للطاقة تقلص في الحرارة الناتجة من هذا الجهاز.

على الرغم أنه من غير المتوقع أن تستبدل أنظمة نيوبات الليثيوم بأجهزة البوليمر ـ ولا سيما الأنظمة المطبقة في الأنظمة المعيارية والمضمّنات المفردة ـ إلا أن الاختبارات الأولية أظهرت أن مضمنات البوليمر (وهي حوالى ميكرون واحد من حيث الحجم) تستطيع أن تؤمن سعة موجية أكثر من 300 جيغاهرتز وهي كافية لاستعمالات المؤسسات العسكرية كلها من ناحية الاتصالات السلكية واللاسلكية، والكومبيوترات، ومحطات التلفزة. إلا أن هذه التكنولوجيا الجديدة ليست محصورة بمادة البوليمر فقط. ويجهد علماء الكيمياء حالياً لإيجاد مواد بديلة أفضل.

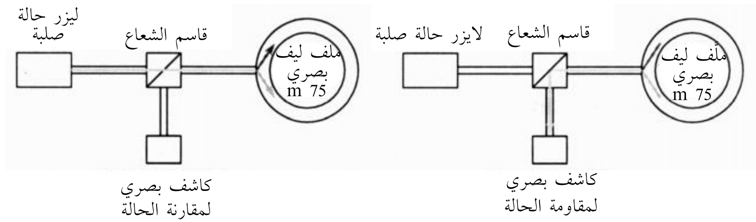
من وجهة نظر عسكرية، يمكن الاستفادة على المدى القريب من هذه التكنولوجيا في شبكات الاتصال، والرادارات، وفي الإجراءات الوقائية الإلكترونية، والمُرسلات الرادارية والجيروسكوبات البصرية، في أنظمة التوجيه والملاحة الجوية. وأما في القطاع التجاري، فيمكن للأنظمة الليفية للاتصالات السلكية والأقمار الاصطناعية أن تكون من أول المستفيدين من هذه التكنولوجيا، وكذلك المكاتب التي تستعمل أنظمة الألياف البصرية مثل الشركات العالمية للاتصالات السلكية واللاسلكية.

إن الرؤية بعيدة المدى لاستعمال هذه التكنولوجيا هو قدرتها على فتح مجالات كبيرة للتطبيقات الجديدة شبيهة بالتطبيقات التي ظهرت مع تطوير أشباه الموصلات قبل 30 عاماً. وتكمن الخطوة التالية في نقل هذه المضمنات من المختبرات إلى ميادين التطبيق والأسواق. ويتطلب تصميم هذه التكنولوجيا اختبارات كثيرة من ناحية

الإمكانات المادية وتأثير الحرارة، غير أن العمل جارٍ لتحقيق انجازات في هذين المضمارين.

9-9-3 جيروسكوب الليف البصري

يتألف هذا الجيروسكوب (الشكل 9-11) من ليف طويل موضوع في بكرة (Coil) يرسل ضوء الليزر إلى كلا الطرفين باستعمال مقسم الشعاع (Beam Splitter) يعكس 50 في المئة من الضوء ويبُث الـ 50 في المئة المتبقية. وينتقل الضوء مع عقارب الساعة حول البكرة ويخرج من طرف الليف بالطور نفسه كلما دار حول البكرة بعكس عقارب الساعة، وذلك أن كلاهما يقطع المسافة نفسها.



الشكل 9-11 جيروسكوب الليف البصري.

إذا دار الجيروسكوب باتجاه حركة عقارب الساعة، فإن الضوء المنتقل في بكرة الليف باتجاه عقارب الساعة سيأخذ وقتاً أطول للوصول إلى طرف الليف، وذلك أن الطرف في تحرك مستمر بعيداً من الضوء. وبالطريقة نفسها إذا دار الجهاز بعكس اتجاه حركة عقارب الساعة، فإن الضوء سيستغرق وقتاً أقل ليصل إلى طرف الليف. ويشكل هذا الاختلاف الطوري بين الضوئين المنبعثين، ويتناسب الاختلاف طردياً مع معدل دوران الجيروسكوب.

9-10 الحكومات المحلية

أصبحت أنظمة الليف البصري وإلكترونياته أكثر شيوعاً ضمن الحكومات المحلية، كما هو ظاهر في الأمثلة الآتية:

9-10-1 المجسّات البصرية

سيطر الباحثون العسكريون دوماً على مجال «البنى والأجهزة الذكية». وقد كُرِّست معظم جهودهم على استعمال المجسّات الليفية المدغَّمة في المواد المعقّدة المستخدمة في الطائرات. وتدرس شركات السيارات حالياً إمكانية استعمال هذه التقنية في مراقبة السيارات العائلية والتحكم في فاعليتها. وتقوم مجموعة من العلماء في جامعة ليفربول حالياً باختبار تقنية جديدة لاستشعار الحرارة، والضغط، والتحرك الخطي والدائري، والفولتية، والتيار الكهربائي. ويتضمن المشروع مجسّات ليفية تقيس تغيرات ألوان الضوء (التضمين اللوني) عند عبور الضوء، أو عند انعكاسه من خلال استعمال مضمن ملائم كالزجاج.

يمكن لأجهزة الاستشعار الإلكترونية التقليدية أن تؤمن بعض المعلومات، غير أنها تقوم فقط بقياسات نقطية. إلا أن المجسّات الليفية، بما فيها المجسات متعددة الأنماط (والمؤسسة على طريقة إحصاء توزيع الأنماط والمجسّات مفردة النمط القطبية). وتستطيع، من ناحية أخرى، احتساب الجهد في كل عناصر البنية. وتستعمل في مشاريع البناء المجسّات البصرية لقياس الإجهادات خلال عملية البناء. وهذا مهم جداً لأن معظم الإجهادات التي تتأثر فيها أساسات البناية أو حمل التفريغ يتشكل قبل اكتمال البناء. ويمكن لهذه الأجهزة قياس الإجهادات خلال عملية البناء، كما إنها تقيس الاهتزازات في المبنى بعد الانتهاء من عملية البناء. وتعمل المجسات البصرية كذلك على

مراقبة سلوك المجسات البصرية وديمومتها خلال عملية البناء.

9-10-2 إضاءة المكاتب

يمكن استعمال الألياف البصرية، بالإضافة إلى استعمالها في الاتصالات ونقل المعلومات، لتزين المكاتب وفي الإضاءة أيضاً. وبالفعل، ستجعلنا الكلفة المتزايدة للطاقة نحتاج إلى أنظمة ألياف بصرية فاعلة من حيث الطاقة، واقتصادية من حيث الكلفة. مثلاً، في أستراليا، وفي مناخ معتدل، يستهلك تكييف هوائي 70 في المئة من إجمالي الطاقة الكهربائية التي يحتاج إليها مبنىً ما. ويستعمل 50 في المئة من حِمل تكييف هوائي لمقارعة نظام الإضاءة. وبما أنه لا ينتج من الألياف البصرية حرارة على عكس المصابيح المستخدمة في منطقة المكيفات الهوائية، فإن هذا سيوفر حوالى 35 في المئة من الطاقة، من إجمالي الطاقة الكهربائية التي يحتاج إليها المبنى، في حال استخدام الألياف البصرية للإضاءة.

ستتغير المكاتب في المستقبل بشكل كبير، فعندما تضاء المكاتب بمستويات إضاءة بحدود 400 إلى 800 لوكس (Lux) (وحدة إضاءة)، بحسب البلد، تكون هذه الإضاءة على كلا السطحين العمودي والأفقي. ويعتمد هذا كذلك على نوعية المهام التي يؤديها ذلك المكتب. إلا أن المكاتب الجديدة التي تعمل من خلال الكومبيوترات فإنها مختلفة جداً، إذ تسيطر الشاشات ومفاتيح التحكم على مهام المكتب. وبما أن الشاشة مضيئة بطبيعتها، فإن الحاجة إلى الضوء تكمن في إضاءة لوحات المفاتيح والمهام الأخرى، وهو ضوء لا يحتاج إلى كهرباء ولا أشعة تنبعث منه ولا حرارة، أي ضوء الليف البصري. وستتلاءم إضاءة المحيط مع إضاءة المكتب، لذلك فإن إضاءة المحيط ستعمل بمستوى وحدة إضاءة منخفضة (حوالى 100 إلى 150 لوكس) لتسهيل الرؤية في المكتب.

9-10-3 التزيين

بدلاً من استعمال مئات المصابيح الصغيرة لمحاكاة المفرقعات النارية في قلعة يورو ديزني عند الاحتفال بالألفية في لندن، جرى استعمال 400 ليف بصري تبث الضوء من مصدر ضوئي هاليدي واحد ذي قوة 150 واط. واستعملت عجلة ملونة بألوان عديدة لتعطي تأثيراً كاليدوسكوبياً بصرياً من ألوان متحركة، ما جعل المشهد يضج بالحياة. وتضمّن ذلك استعمال عشرة ألواح إكليلية، عرضها حوالى 60 قدم وطولها 22 قدماً عُلّقت في شارع ريجنت، فزودت بإضاءة إضافية باستعمال ضوء تنغستين أو هالوجين قوته 500 واط وضع في قعر كل لوح.

9-10-4 إشارات الطرق بالألياف البصرية

يزداد استعمال الإشارات التحذيرية على الطرقات، مثل «خفف السرعة» أو«الحد الأقصى للسرعة» والإشارات الأخرى، في الأوتوسترادات في الوقت الحاضر. ويمكن إضاءة هذه الإشارات من خلال ضوء التنغستين أو الهالوجين المار عبر الليف ليصل إلى طرفه، وبالتالي فإن الضوء الخارج من طرف الليف يضيء هذه الإشارات. وعادة ما تكون اللوحات فارغة. ويمكن تشغيل هذه الإشارات إما يدوياً أو بشكل تلقائي باستعمال آلية تشغيل ذاتية مثل مجسات استشعار السرعة أو كواشف الأشعة تحت الحمراء.

تحتم المواصفات التي وضعتها وزارة النقل الأميركية أن تكون هذه الإشارات خافتة باستمرار على نطاق الضوء المحيط باستعمال جهاز إلكتروني للتحكم بحدة الضوء بدلاً من استعمال التقنية القديمة للإشارات التي تكون إما مضاءة أو مطفأة. ويمكن تحقيق ذلك عادة من خلال وضع خليتين ضوئيتين في مقدمة الإشارة تعدّلان كثافة

الإشعاع تلقائياً عبر ميزان سطوع متدرج يتفاعل مع سطوع أشعة الشمس، من 40000 لوكس وحتى الظلام الدامس (حوالى 40 لوكس).

وتستلزم المواصفات الجديدة أن يؤمن التصميم إمكانية المراقبة عن بعد لكل وظائف الإشارات كإجراء احترازي في حال تعطل مصباح/ أو أن تحمل الإشارة الرسالة المطلوبة في وقت غير صحيح. ويجب أن تسمح المعدات بإمكانية التحويل اليدوي وأن تحتوي المنظومة على قفل بيني كهربائي لمنع عرض أكثر من رسالة واحدة في الوقت نفسه على لوح الإشارة المعين، بالإضافة إلى مسخّن مقاوم للرطوبة مزود بمنظم حراري لمنع ظهور غشاء ضبابي على سطح شاشة العرض في الإشارة عند انخفاض درجة حرارة المحيط.

9-11 الطب

كان النمو الحديث في استعمال تكنولوجيا الألياف البصرية في الطب وفي البحوث الطبية والصحية هائلاً. وقد سمح استعمال الألياف البصرية في الإجراءات الطبية بنقل معلومات التحاليل الطبية الناتجة من عمليات التصوير بالمرنان المغنطيسي (Magnetic Resonance Imaging - MRI). وتتوفر العمليات الناتجة من التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (Position Emission Tomography - PET)، لأي كان أينما كان. كما إن استخدام معدات الألياف البصرية في العمليات الجراحية يعني استخدام طرائق تشخيص غير مؤذية، ما يختزل زمن الشفاء، بالإضافة إلى توفير الكلفة.

9-11-1 الليزرات - الاستخدامات الطبية

لقد اجتاح الليزر عالم الطب منذ ستينيات القرن الماضي، وحسّن من نتائج الفحوص الطبية. وتستعمل أشعة الضوء المكثفه هذه

في عملية تخثير الدم ضوئياً، وللاستئصال، أو لحرق الأنسجة، وقد حلّت محل المشرط في كثير من العمليات الجراحية. وتشير التوقعات بأن 5 في المئة من نصف مليون طبيب يستخدمون الليزر، ويوظفونه بفاعلية. ويتوقع أن تزداد هذه النسبة إلى 25 في المئة في السنوات الخمس القادمة.

من جراحة الدماغ، إلى حصوات الكلى، وجراحة العيون، وعمليات تقرح المثانة، وجراحات الفم، ومعالجة الخلايا السرطانية بالأشعة، فإن الليزر يعيد تعريف طرق الممارسة الجراحية، إذ أصبح أداة أساسية يجب على الجراح أن يتقن استخدامها، ليس لتحسين تقنياته الطبية فقط، بل لأن المرضى باتوا يسألون عنها باستمرار.

تسلط الليزرات الطيبة إما نبضات إشعاعية أو موجات مستمرة على النسيج. وعندما يمتص النسيج الشعاع المسلط تتولد حرارة موضعية تولد التأثير الجراحي المطلوب. ومع ارتفاع درجة حرارة النسيج، فإنه يبيض خلال تخثره وينكمش أثناء تجففه ويتحول إلى بخار عند حرقه بشدة. ويحدد الطول الموجي لليزر ومزايا امتصاص النسيج للطيف كيفية انتقال حرارة الشعاع بفاعلية إلى النسيج.

إن أنواع الليزرات الجراحية الثلاثة المستخدمة اليوم في الجراحة هي ليزر ثاني أكسيد الكربون الذي يبعث الضوء في نطاق 10.6 مايكرومتر، وليزر (ND:YAG) أي (Neodymium-Doped Yttrium Aluminium Garnet Laser) الذي يبعث الضوء في نطاق 1.06 مايكرومتر، وليزر الأرغون/KTP، الذي يبث في النطاق الأخضر على طول موجي 488، و514، و532 نانومتر. ومؤخراً تجدد الاهتمام في الليزر الأكسيميري المستخدم في طب العيون. وبالإضافة إلى ليزرين حالة صلبة، ليزر حجر ألمنيوم الإتيريوم المطعم بالهوليوم ، وليزر حجر ألمنيوم الإتيريوم المنشط بالإيربيوم. وقد أصبحت هذه الليزرات متوافرة للاستعمال في الجراحة المتخصصة.

9-11-2 مجسّات الالتواء المرنة في الليف الزجاجي

تركب هذه المجسّات على قطعة صغيرة. وعادة ما تستخدم لقياس المواقع الزاوية أو حركات البشر أو الآلات. وهي قادرة على استكشاف كل حركة، كما تولّد ناتج فولتي يتناسب مع الالتواء أو الإزاحة للمتحسس.

يستشعر هذا الجهاز أي التواء على أنه تداخل مع التضميم الخطي مزدوج القطب للضوء الذي يرسل عبر حلقات ليف بصري مُعَالَج خصيصاً. وسيصدر عنها ناتج فولتي خطي عالٍ، وثابت، بالتجاوب مع الإلتواء أو الإزاحة للمتحسس، إذ يمكن أن يستخدم الناتج ليشكل صور ومجموعة بيانات تبين الأشكال المعقدة على جهاز كومبيوتر.

ويمكن أن تستخدم المجسّات لقياس زاوية أي حركة صغيرة، غير أنه يجب أن تكون متينة بشكل كافٍ لتحمّل ملايين الالتواءات. ويجب أن تتوافر فيها في الوقت نفسه صفات معيّنة مثل قلة الكلفة، والسلامة الداخلية، والسرعة والمرونة العاليتان. ويمكن استخدامها كذلك في تطبيقات المقاييس الحيوية، وفي أجهزة الواقع الافتراضي (Virtual Reality)، وفي اختبارات التصادم، والتصوير الطبي وفي تطبيقات أخرى.

9-12 احتمالات أخرى

إن إمكانيات البصريات في أنحاء العالم هائلة. ويتوقع قطاع صناعة البصريات نمواً بحوالى 200 مليار جنيه استرليني بحلول عام 2010. وقد تم الإعلان عن وجود 6000 وظيفة شاغرة في هذا القطاع في المملكة المتحدة وحدها. ويشمل ذلك خطط التوسع لعدد من الشركات العالمية في المملكة المتحدة.

إن إحدى الاستعمالات سريعة التطبيق لليزر في الاتصالات

البصرية هي توزيع المعلومات بسرعة فائقة بين المكاتب. وسيستخدم الليزر في الفتحات العمودية (Risers) التي تساعد في نقل المعلومات بسرعة داخل المبنى، ولكن ستنقل المعلومات إلى الكومبيوتر من خلال الصمامات الثنائية الباعثة للضوء عبر الألياف البصرية متعددة الأنماط.

إن تركيب الليف البصري في البيوت أصعب من تركيبه في المكاتب. والمشكلة هي اقتصادية أكثر منها تقنية. وحالما يبدأ استعمال هذه التكنولجيا الجديدة في المنازل، فإن سعر السوق سوف يرتفع. وإذ أراد المستخدمون بثاً فيديوياً عالي الجودة، فسنحتاج إلى تكنولوجيا أكثر تعقيداً. أما بالنسبة إلى توصيل الألياف إلى المنازل، فإن الكلفة هي العائق الأكبر. وتكمن الكلفة الأكبر في تركيب الليف نفسه، وهذا يفوق كلفة المعدات البصرية الأخرى.

9-12-1 الإنترنت

إنها حقيقة مدركة بأن سرعة المعدات المستخدمة في شبكات الاتصالات بعيدة المدى تتضاعف كل 18 شهراً، وأن كلفة كل بت من البيانات التي تبث تتقلص إلى نصف الكلفة. ومقارنة بالاتصالات بعيدة المدى، فإن استخدام الإنترنت يتضاعف كل 100 يوم.

يوجد إقبال كبير على استخدام الإلكترونيات البصرية وأسلاك الليف كعمود فقري للاحتياجات المستمرة متزايدة السرعة والقدرة على الاتصال بالشبكة العنكبوتية. وباستخدام سعة غير محدودة للموجة، فإن الألياف المنفردة يمكن ان تتحمل آلاف وآلاف الإرسالات المتزامنة. وبالفعل، فقد طلبت شركة تايم وارنر للاتصالات في الولايات المتحدة من قطاع الاتصالات تأمين شبكة ألياف بصرية للاتصالات السلكية واللاسلكية فائقة السرعة في أميركا

الشمالية بحيث إنها قادرة على تحمّل إرسال جميع المستخدمين في أميركا الشمالية صفحة بريد إلكتروني واحدة في الوقت نفسه عبر الشبكة.

9-12-2 السيارات والطائرات

إن لسيارات الوقت الحاضر منظومات إضاءة جسيمة. وبما أن سلك الليف البصري صغير الحجم سهل استخدامه، فإنه يمنح مصصمي السيارات حرية أكبر عند تصميمهم للسيارات. ويمكن استخدام هذه المنظومات استخدامها للتحكم بالراديو، والحرارة، والمكيفات الهوائية.

أما في الخطوط الجوية، فبما أن الليف البصري خفيف الوزن فلا يوجد حاجة إلى استعمال الأسلاك ثقيلة الوزن في الطائرات، ما يخفف من وزن الطائرة ويسمح باستخدام الوزن الإضافي لنقل الحقائب والمعدات الأخرى. وباستخدام الألياف البصرية، فإنه من الممكن استخدام منظومات اتصال داخلية في الطائرة بحيث لا تكون معرضة للعناصر الخارجية، وبالتالي يمكن للطيارين أن يتحققوا من الأضرار التي قد تصيب بعض أجزاء الطائرة، من دون الحاجة إلى الانتظار حتى يهبطوا.

9-12-3 المعالجة البصرية والكومبيوتر

أصبح استخدام التقنية البصرية في التخزين ومعالجة الإشارة مستخدماً حالياً على نطاق واسع في مجال تطبيقات معيّنة. وقد ازداد كذلك توافر الأقراص البصرية للكومبيوترات الشخصية ومشغلات الأقراص المدمجة CD. ولم يكن تأثير المعالجة البصرية في قطاع الاتصالات السلكية واللاسلكية مفاجئاً، بل كان متوقعاً. وستساعد المعالجة البصرية بشكل هائل على تطوير الشبكة العصبية

الاصطناعية. وسيتم إنتاج كثير من البحوث المتعلقة بالشبكة العصبية باستعمال المكونات البصرية. والسبب الرئيس لهذا هو قدرة البصريات على تقديم ترابط بيني هائل ومتوازٍ. وبما أن هذه المقاييس هي أساسية بالنسبة إلى مبدأ الكومبيوتر العصبي، فإن البصريات ملائمة لذلك لدرجة أنه قد تطور التكنولوجيا المطلوبة قريباً.

9-12-4 التعدين

تستخدم أنظمة الليف البصري للبث في كهوف المناجم الحديثة أو المناجم المفتوحة، وذلك لمراقبة منظومات الأمان، والحريق، وإنذارات الغاز، والماء، والهواء المضغوط، والشبكات الكهربائية والتحكم فيها. ويمكن استخدام الألياف البصرية في الخدمات تحت الأرض وعلى السطح مثل الصوت، والبيانات، والشبكات المحلية والفيديو.

9-13 الخاتمة

عادةً ما توصف الإلكترونيات البصرية، وخصوصاً من قبل الذين يرون أنها تكنولوجيا منافسة، بأنها ما زالت في طفولتها وتعاني مشاكل حتمية. وعلى أي حال، سيجعل انخفاض كلفة كابلات الألياف البصرية والموصلات وطبيعة هذه الأسلاك غير الموصلة للكهرباء الإلكترونيات البصرية أكثر شيوعاَ. إذ إن الألياف البصرية غيرت في أقل من 20 سنة عالم شبكة الاتصالات السلكية واللاسلكية بشكل جذري. ويتوقع أن تصبح هذه التكنولوجيا خلال العشرين سنة القادمة أكثر بروزاً من خلال الشبكات الجديدة والجذرية في عالم الاتصالات، والخدمات والتطبيقات التي يمكن توظيف الألياف البصرية فيها.

إن التدابير المطلوبة لأدوات الشبكة وسعتها في نطاق الوقت

الحاضر في الوقت التي يصعب تصورها ستكون ضرورية لاستيعاب الطلب المتزايد على الاتصالات السلكية واللاسلكية. ومن المتوقع، مثلا، أن يزداد استعمال الكمبيوتر بمقدار 1000 مرة في العقد القادم، و1000,000 مرة في العقد الذي يليه. وفي الوقت نفسه، فإن معدلات دارة التعداد ستزداد بـحوالى 10 و100 مرة أيضاً. ولكن الكومبيوتر المُوزع (Distributed Computers) فاعل فقط بتوفر قنوات سعة موجية أوسع بين الكومبيوترات، أي قنوات تكون قادرة على الوصول إلى معدلات نقل بيانات توازي سرعة الكمبيوتر الذي تخدمه هذه القنوات.

إن مستقبل الألياف البصرية هو مستقبل الاتصالات، إذ يمكنك عند استخدام الألياف الحصول على سعة موجية بإمكانية غير محدودة لترقيتها (Upgrading). وتجعل التطبيقات مثل وسائل الإعلام والإيضاح المتعددة والمؤتمرات عبر الفيديو من السعة الموجية مطلباً ضرورياً جداً. وأما بالنسبة إلى الشبكات ذات المساحة الواسعة، فإن البنية التحتية للنظام المركب قابل للتوسع ليلائم ازدحام دفق الاتصالات غير المحدودة من قبل المستخدمين. كما إن مشغّلي البث التلفزيوني أصبحوا يستخدمون الألياف بكثرة. وبما أن التلفزيون الرقمي سيزدهر في بيئة مبنية على الليف البصري، فإن الاتصالات اللاسلكية تحتاج إلى الليف البصري لوصل الخلايا المحلية الموفّرة للطاقة أو جهاز (PCS) المُرسل المُستقبل، ووصلها بشبكة التحويل (Switching Matrix).

ازداد استخدام الألياف البصرية في التسعينيات من القرن الماضي، بدرجة ملحوظة في كل من القطاع التجاري والعسكري. ومن دون شك، فإن الإلكترونيات البصرية ستصبح التقنية المسيطرة في العقد القادم.

تختم هذه النظرة المستقبلية القريبة إلى الأَلياف البصرية هذا الكتاب. وفي الملحق (أ) جدول لبعض المعايير العالمية والأوروبية المتوافرة حالياً في عالم الإلكترونيات البصرية. كما ويُختتم الكتاب بجدول يتضمن اختصارات مفردات تكنولوجيا الأَلياف البصرية والإلكترونيات البصرية، بالإضافة إلى مسرد للمصطلحات وفهرس كامل.

الملحق أ

معايير الليف البصري والإلكترونيات البصرية

في ما يلي تفاصيل مختصرة حول بعض المعايير المهمة المتوافرة حالياً. وقد جرى استخراج هذه التفاصيل من قاعدة المعلومات لدى شركة Infonorme London Information الخاصة بالمعايير بعد الحصول على موافقتهم. ومن أجل الحصول على تفاصيل إضافية حول المعايير الأخرى، ننصح القارئ بزيارة الموقع الإلكتروني.

رقم المعيار	الاسم	التاريخ	الملخص
EN 181000	منظومة متناغمة لتقويم جودة المكونات الإلكترونية - مواصفات عامة - جهاز تفريع الألياف البصرية	1994	هذا المعيار عبارة عن مواصفات عامة تصنف أجهزة تفريع الليف البصري بالاعتماد على طول الموجة إلى صنفين: أجهزة انتقائية لطول الموجة، والأجهزة اللاإنتقائية لطول الموجة. وتتضمن المعلومات الآتية: الصنف المناخي، والمواد، والترزيم، ومعلومات الطلبية، وترميز الرزمة، والرموز، وترميز المكونات، ومقاومة الصدمة، والضباب الملحي، والمناخ الحراري الجاف، وكيفية تنظيف الأجهزة البصرية، والإشعاع الشمسي، وإجراءات تقويم الجودة، والتغيرات الحرارية. بالإضافة إلى أنها تتضمن تعريفات وملحقات مفصّلة.

EN186000 PT1	مواصفات عامة: مجموعة موصّلات الألياف البصرية والكابلات - المتطلبات، وطرق الفحص وإجراءات الموافقة على الجودة.	1993	ينطبق هذا المعيار على مجموعة موصّلات كابلات الليف الضوئي والكابلات العادية. ويتضمن المعيار: التعاريف، والصنف البيئي، والمقاييس، ومقاومة التآكل، وترميز المكونات، وترميز الرزمة، والفقد الطيفي، والتواء الكابل، وسحب الكابل، والحمل الحركي، والإشعاع النووي، والأشعة الشمسية، والضغط المحوري، والمناخ الصناعي.
EN187102	الكابلات الهوائية البصرية للاتصالات السلكية واللاسلكية	1995	يشمل هذا المعيار الكابلات الهوائية البصرية للاتصالات السلكية واللاسلكية.
EN187200	المواصفات المقطعية - الألياف البصرية المستخدمة مع خطوط الطاقة الكهربائية	2001	يصف هذا المعيار متطلبات الألياف البصرية المفردة النمط والمتدرجة المعامل.
EN50173	تكنولوجيا المعلومات - أنظمة التمديد العامة للكابلات	1995	يحدد هذا المعيار التركيب العام للكابلات من حيث الاستخدام في المجالات التجارية التي قد تشمل بناية أو أكثر في مجمع سكني. وتتضمن الموازين وتركيب الكابلات النحاسية والألياف البصرية كما وتحدد البنية والترتيب مطلوب للتركيب العام للكابلات، ومتطلبات التطبيق، ومتطلبات التوافق، وإجراءات التثبيت، وأداء الوصلات المفردة.
EN50174-1	تكنولوجيا المعلومات - تنصيب الكابلات - الجزء الأول - المواصفات وضمان الجودة	2000	

EN50174-2	تكنولوجيا المعلومات – تنصيب الكابلات – تخطيط لعملية التركيب والتركيب داخل المبنى	2000	يتضمن هذا المعيار المتطلبات الأساسية لتخطيط كيفية تمديد كابلات تكنولوجيا المعلومات وتشغيلها باستخدام كابلات النحاس والألياف البصرية – إن هذه المعايير تطبق على تصاميم تركيب الكابلات التي تدعم خدمات معيّنة من الاتصالات الرقمية والتناظرية، بما فيها الخدمات الصوتية وأنظمة الكابلات العامة، كما وتدعم مجالاً واسعاً من خدمات الاتصالات.
EN60794 PT3	كابلات الليف البصري – والمقنونة والكابلات المتدلية في الهواء، أو المدفونة تحت الأرض – الصفات المقطعية	1998	ويتضمن هذا المعيار متطلبات كابلات الليف البصري مفرد النمط المستعمل بشكل أساسي في شبكات الاتصال السلكية واللاسلكية العامة، كما ويشمل عدداً من أنواع التطبيقات الأخرى التي تحتاج إلى نوع كهذا من الكابلات. ويمكن تطبيق هذا المعيار عند الاستعمال في فتحات تمديد الكابلات، أو الكابلات المدفونة مباشرة في الأرض، أو الكابلات المتدلية في الهواء. إلا أنها لا تشمل الكابلات التي تستعمل في أعماق البحار.
EN60794-1-1	كابلات الليف البصري – الجزء 1 – 1 – المواصفات العامة	1999	يطبق هذا المعيار على كابلات الليف البصري المستخدمة في معدات الاتصالات السلكية واللاسلكية والأجهزة التي تقوم بالعمل نفسه، كما ويطبق كذلك على الكابلات التي تتضمن توصيلات كهربائية وألياف بصرية. وبالإضافة إلى ذلك فإنه يعرّف المتطلبات العامة الموحدة لكابل الليف البصري من حيث البث، والهندسة، والعوامل

			الميكانيكية، والعمر التحملي (للعوامل البيئية) والخصائص المناخية، والمتطلبات الكهربائية عندما تقتضي الحاجة.
EN60794-1-2	كابلات الليف البصري - الجزء 1 - 2 - مواصفات عامة - الإجراءات الأساسية لفحص كابل الليف البصري	1999	يطبق هذا المعيار على كابلات الليف البصري المستخدمة في معدات الاتصالات السلكية واللاسلكية والأجهزة التي تقوم بالعمل نفسه، وفي الكابلات التي تجمع بين الموصلات الكهربائية والألياف البصرية. كما ويحدد طرق وضع متطلبات الكابلات المادية، ومتطلبات البث، والمتطلبات الهندسية والميكانيكية والعمر التحملي (للعوامل البيئية) والخصائص المناخية، والمتطلبات الكهربائية عندما تقتضي الحاجة.
EN60825 PT2	سلامة المنتوجات الليزرية - الجزء 2 - سلامة أنظمة الاتصال عبر الألياف البصرية	2000	يؤمن هذا المعيار متطلبات وتوجيهات محددة لسلامة المستخدم عند استعماله أنظمة الاتصال الليفية البصرية حيث يمكن الوصول إلى الطاقة البصرية لصيانتها أو تفقدها من مسافات بعيدة جداً. كما ويشمل تصميم الكابل، وموصّلات الكابلات، ونظام تقليص الطاقة تلقائياً والتصنيف، بالإضافة إلى أنها تتضمن ملاحق مفصلة إضافية.
EN60869-1	أجهزة توهين الألياف البصرية - الجزء 1 - مواصفات عامة	2000	يطبق هذا المعيار على موهنات الألياف البصرية التي توصف بالسلبية (Passive)، وذلك لعدم احتوائها على أي إلكترونيات ضوئية أو عناصر ناقلة للطاقة. وتتضمن قابسين لبث الطاقة الضوئية، وتوهين الطاقة المرسلة في نمط ثابت أو متغير. ويجري وصل إما الألياف البصرية أو

			الموصّلات البصرية في هذين القابسين. ويحدد هذا المعيار المتطلبات الموحدة لمتطلبات الموهنات وطرق تقويم الجودة. إلا أنه لا يتضمن عمليات الفحص أو طرق معيار الطاقة الموجودة في المعيار IEC61300-1.
EN60874-1	موصّلات الألياف البصرية والكابلات – الجزء 1 – مواصفات عامة	1999	يعنى هذا المعيار بموصّلات الألياف البصرية والمكونات المفردة مثل القوابس، والقابس، والمحولات من جميع الأحجام والبنية التركيبية للألياف البصرية والكابلات. كما ويشمل معايير الموصّلات، وإجراءات تقويم الجودة. إلا أنه لا يتضمن طرق الفحص ومعيار الطاقة.
EN60875-1	أجهزة تفريع الألياف البصرية – مواصفات عامة	2001	يطبق المعيار على أجهزة تفريع الكابلات البصرية السلبية التي لديها ثلاثة قوابس أو أكثر لإدخال وإخراج الطاقة البصرية ولتوزيع الطاقة البصرية بنمط مسبق التحديد حيث تكون القوابس موصولة إما بالألياف البصرية أو الموصّلات البصرية.
EN61202-1	عوازل الألياف البصرية – مواصفات عامة.	2000	يطبق هذا المعيار على العوازل المستخدمة في حقل الليف البصري ذي المزايا الآتية: مكونات سالبة لا تحتوي على عناصر إلكترونية ضوئية أو عناصر أخرى ناقلة للطاقة. ويطبق كذلك على الأجهزة البصرية غير المتعاكسة حيث إن كل قابس إما ليف أو موصّل بصري. ويكون لدى الأجهزة هذه نقطتين بصريتين للبث الاتجاهي للطاقة البصرية. كما يقوم المعيار بتحديد متطلبات موحدة لمتطلبات العازل البصري وإجراءات تقويم الجودة.

EN61269PT1	معدات إنهاء الليف البصري ـ مواصفات عامة	1997	يطبق هذا المعيار على جميع أنواع معدات إنهاء الليف البصري بجميع أحجامها والبنى التركيبية المختلفة للألياف والكابلات، بما فيها متطلبات الإنهاء وإجراءات تقويم الجودة.
EN61274PT1	محولات الليف البصري - مواصفات عامة	1997	يطبق هذا المعيار على متطلبات وإجراءات تقويم الجودة لمختلف أنواع محولات الليف البصري.
EN61280-4-2	إجراءات فحص أنظمة الاتصال الثانوية الليفية البصرية - كابلات الألياف البصرية - توهين الليف البصري مفرد النمط.	1999	يشمل هذا المعيار طرق قياسات أداء التوهين البصري (الفقد) في كابل ليف بصري مركب. إن هذا المعيار غير قابلة للتطبيق في فحص المكونات، كما إنه لا يحدد عناصر التركيب التي تحتاج إلى قياس.
EN61281-1	أنظمة الاتصال الليفية البصرية الثانوية - مواصفات عامة	1999	يحدد هذا المعيار المواصفات العامة لأنظمة الاتصال عبر الألياف البصرية الثانوية. كما إنه مبني وفق نظام (IEC) لتقويم الجودة. وتصنف الأنظمة الثانوية بأن لديها مواصفات مقطعية. إن كل واحدة منها مُكَمَّلَةٌ بمواصفات تفصيلية ملائمة لأنواع معيّنة من الأنظمة الثانوية. وتشكل هذه العوامل مجموعة مواصفات مشتركة بين الأنظمة الثانوية ذات الألياف البصرية. قد نحتاج إلى قياسات إضافية، وذلك بحسب التكنولوجيا والتطبيقات. وسيكون هذا المعيار ذا صلة بالمواصفات المقطعية و/ أو المواصفات التفصيلية كما يقتضي الأمر. ويمكن معيار العوامل باستعمال إجراءات الفحص هذه.

EN61754 PT1	السطح البيني لموصّلات الـليف الـبـصـري - مـعـلـومـات عـامـة، وإرشادية	1997	يصف هذا المعيار المعلومات العامة عن السطح البيني لموصّلات الليف البصري بما فيها التداخل، والتعريفات، وقواعد وضع وتحليل الرسومات القياسية.
EN 61757-1	أجـهـزة تحـسـس الـليف الـبـصـري ـ مـواصـفـات عامة.	1999	يُعرّف هذا المعيار المواصفات العامة المعنية بالألياف البصرية، والتجميعات الثانوية والمركبات الخاصة لتحسس التطبيقات ضـمـن مـفـاهـيـم لم تـعـنـون ضـمـن مـعـيـار مـوحـد. ويحتوي جـهـاز الـتـحـسـس على كـاشـف مُحـفَـز بـالـطـاقـة الـبـصـريـة يـولّـد المعلومات نتيجة تفاعل الضوء والمعيار. والهدف هو توضيح وتعريف وتأمين إطار عـمـل لـتـصـنـيـف مـتـحـسـسـات الـلـيف الـبـصـري، والـتـجـمـيـعـات الـثـانـويـة. إن متحسسات الليف البصري هي أجهزة تستخلص المعلومات من البيئة التي تستخدم تكنولوجيا الألياف البصرية.
EN62077	أداة تحـديـد اتجـاه طـاقـة الـلـيف الـبـصـري - مواصفات عامة	2001	
IEC60331-25	فـحـص الـكـابـلات الـكـهـربـائـيـة فـي حـال اندلاع حرائق - سلامة الـدارة - الإجـراءات والمتطلبات - كابلات الليف البصري	1999	يـتـضـمـن هـذا المعـيـار طـرق الـفـحـص ومتطلبات الأداء، ويشمل ذلك القدرة على مقاومة الحرائق، التي ينصح بها المصنّعون للإبقاء على سلامة الدارة الكهربائية في حال تعرضها للنار في ظل ظروف معيّنة. ويصف المعيار كذلك ترتيبات الفحص الاستمرارية، وطرق إجراءات الفحص البصري، وكيفية تهيئة العيّنة، وطرق حرق الكابل لتقويم نتائج الفحص.

IEC60747 PT5	أجهزة أشباه الموصلات، والأجهزة المنفصلة - والأجهزة الإلكترونية البصرية	1995	هذا المعيار هو عبارة عن معايير للأصناف والأصناف الثانوية للأجهزة الآتية: شبه الموصل الباعث للضوء - أجهزة أشباه الموصلات المتحسسة للضوء - والمقرنات الضوئية، والمقرنات البصرية.
IEC60793 PT1-3	الألياف البصرية - الجزء 1 - 3 -مواصفات عامة -طرق قياس الميزات الميكانيكة	2000	يطبق هذا المعيار على إجراءات فحص قدرة التحمل الميكانيكية، وسهولة التعامل أو اكتشاف الأضرار المادية أو الألياف البصرية الزجاجية الصادة أو المطلية. وتستعمل هذه الطرق لفحص الألياف المستخدمة للغايات التجارية. والهدف من هذا الجزء هو وضع متطلبات موحدة للميزات الميكانيكية لليف البصري.
IEC60794 PT1	كابلات الليف البصري - مواصفات عامة	1996	يطبق هذا المعيار على كابلات الألياف البصرية التي تستعمل في معدات وأجهزة الاتصال السلكي واللاسلكي والأجهزة التي تقوم بالعمل نفسه، وكذلك الكابلات التي تحتوي على الألياف البصرية والوصلات الكهربائية. كما ويقدم هذا المعيار متطلبات الميزات الهندسية، والميكانيكية، وميزات البث، والمناخ لكابلات الليف البصري، والمتطلبات الكهربائية. وهذا المعيار هو عبارة عن نسخة منقحة تحتوي على طرق قياس جديدة، مثل قياس الالتواء، والسرقة، والأوساخ، وانحناء الكابل، والدورة الحرارية. وقد جرى استبدال طرق قياس الحرارة (IEC 794-1F1). كما تمت إضافة دليل لصلات الليف البصري القصيرة المسافة في ملحق.

IEC 60794 PT2	كابلات الليف البصري – مواصفات المنتوجات (الكابلات الداخلية)	1998	يتناول هذا المعيار مواصفات منتوجات الكابلات التي تتضمن ليفاً واحداً أو الكابلات متعددة الألياف. وتصنف كابلات الليف المفرد للاستعمالات الداخلية مثل معدات البث، ومعدات الهاتف، ومعدات معالجة البيانات، وشبكات الاتصال، وشبكات البث.
IEC 60794 PT3	كابلات الليف البصري – في فتحات التمديد، أوالمدفونة، أوالمتدلية في الهواء – مواصفات مقطعية	1998	يصف هذا المعيار متطلبات كابلات الليف البصري مفردة النمط المستخدمة أساساً في شبكات الاتصالات العامة. ويشمل أنواع التطبيقات الأخرى التي تحتاج إلى نوع كهذا من الكابلات البصرية، وبالتحديد متطلبات الكابلات التي تستعمل في القنوات أو الكابلات المدفونة مباشرة في الأرض أو المتدلية في الهواء. وتشمل كذلك الكابلات الموضوعة تحت الماء في مرحلة لاحقة. أما بالنسبة إلى التطبيقات الهوائية (كابل متدلٍ في الهواء)، فإن هذا المعيار لا يغطي كل النواحي العملية للكابل المركب مع خطوط الطاقة الكهربائية. وفي حال حصول تطبيق كهذا، فإنه من الضروري إجراء فحص أو تأمين متطلبات إضافية.
IEC 60794 -1-1	كابلات الليف البصري – الجزء 1-1 مواصفات عامة	2000	يطبق هذا المعيار على كابلات الليف البصري المستخدمة في معدات الاتصال السلكية واللاسلكية والأجهزة التي تقوم بالوظيفة نفسها، وكذلك الكابلات التي تجمع بين الألياف البصرية والموصلات الكهربائية. والهدف من ذلك وضع متطلبات عامة موحدة للمتطلبات

			الـهـنـدسـيـة، والمنـاخـيـة، والماديـة، والميكانيكية، ومتطلبات كابلات الليف البصري والكابلات الكهربائية. الملحق - أ - معلومات عن الوصلات القصيرة المسافة وتعنى بالكثير من الكابلات الأخرى في هذه المجموعة. الملحق - ب - دليل مستخدمي هذه المجموعة في معالجة الكابلات البصرية. الملحق - ج - دليل تركيب كابلات الليف البصري.
IEC60794-1-2	كابلات اليف البصري - مواصفات عامة - الإجـــــراءات الأولية لفحص الألياف البصرية	1999	يتناول هذا المعيار كابلات الليف البصرية التي تستخدم في أجهزة ومعدات الاتصالات، والأنظمة التي تستخدم التقنيات نفسها، وكذلك الكابلات التي تجمع بين الألياف البصرية والموصلات الكهربائية، وتحدد طرق لوضع المتطلبات الهندسية والمادية، والميكانيكية، وقدرة التحمل والمتطلبات المناخية، ومتطلبات البث، والمتطلبات الكهربائية.
IEC60794-4-1	كابلات الليف البصري - والكابلات المتدلية في الـهـواء مـع خـطـوط كهرباء ذات تيار عالٍ	1999	
IEC60825-2	سـلامـة اسـتـخـدام المنتوجات الليزرية - الجـزء الـثـاني: سـلامـة استخدام أنظمة الاتصال ذات الألياف البصرية	2000	يتناول هذا المعيار إرشادات معيّنة للاستعمال السليم للألياف البصرية، وأنظمة التحكم بالاتصالات في الأماكن التي يمكن الوصل من خلالها إلى الطاقة البصرية عبر مسافات بعيدة عن المصدر الضوئي. كما تساعد على حماية الناس من الإشعاع البصري. وتساعد كذلك على وضع تحذيرات من خطر الأشعة المرافقة

			لأنظمة الاتصالات البصرية من خلال إشارات تحذيرية، وملصقات، وتعاليم. وتضع كذلك متطلبات معيّنة للمصنع أو المؤسسة المشغّلة لهذه الأنظمة، بالإضافة إلى أنها تساعد على تقليص إمكانية حصول إصابات جسدية .
IEC60874 PT1	موصّلات الألياف البصري والكابلات – مواصفات عامة	1999	يتحدث هذا المعيار عن موصّلات الليف البصري والمكونات الفردية مثل القوابس، والمحولات، والمفاصل، من كل الأنواع والأحجام مهما كانت بنية الكابلات والألياف. ويغطي كذلك مواصفات مجموعة الموصّلات وإجراءات تقويم الجودة. إلا أنه لا يتضمن طرق الفحص.
IEC60875 PT1	أجهزة تفريع الليف البصري اللاإنتقائية لطول الموجة – الجزء الأول – مواصفات عامة	2000	يطبق هذا المعيار على الأجهزة اللاإنتقائية لطول الموجة. ويضع كذلك متطلبات موحدة لمتطلبات جهاز التفريع وإجراءات تقويم الجودة.
IEC61073 PT1	حاميات الوصلات الميكانيكية، والوصل الانصهاري للكابلات والألياف البصرية الجزء الأول – مواصفات عامة	1999	يتناول هذا التطبيق معدات وصل الليف البصري (مثل قطع الحماية، وقطع الصف... إلخ) والكابلات. ويشمل كذلك ميزات معدات وصلة الليف البصري وطرق تقويم الجودة. إن طرق الفحص والتقويم مفصلة في المعايير IEC61300-1، وIEX61300-2، وIEC61300-3 .

IEC61073 PT2	وصـلات الكـابـلات والـليف البـصـري - مواصفات مقطعية - مُـنـظـمـات الـوصـل والإغـلاق المحـكـم لـلـكـابـلات والـليف البصري	1993	يغطي هذا المعيار المتطلبات العامة والحد الأدنى من إجراءات تقويم الجودة لُمنظمات الوصلات وأدوات الإغلاق المحكم. ويغطي كذلك جميع المتطلبات البعدية والميكانيكية والبيئية بمواصفات مفصلة.
IEC61202 PT1	عوازل الليف البصري - الجزء - 1 - مواصفات عامة	2000	يرقّم هذا المعيار بـ(QC 830000) أيضاً. ويدل الرقم على مواصفات نظام تقويم جودة المكونات الإلكترونية. كما إنه قابل للتطبيق على الألياف البصرية، ويتضمن المزايا الآتية: الأجهزة الضوئية غير المتعاكسة السلبية (Passive) التي لا تحتوي على إلكترونيات بصرية أو عناصر أخرى ناقلة للطاقة. إن لدى هذا الجهاز قابسين بصريين للبث الاتجاهي للطاقة البصرية، وعادة ما تكون نوافذ بصرية أو موصّلات الليف البصري، وهي حساسة لطول الموجة. إن الهدف من هذا هو وضع متطلبات موحدة لما يأتي: الميزات البيئية والميكانيكية والبصرية لقياس الأداء، والتصنيف، وإجراءات تقويم الجودة، وطرق الفحص والقياس.
IEC61274 PT1	محولات الليف البصري - مواصفات عامة	1994	إن لدى هذا المعيار صلة بمحولات الألياف البصرية مثل: محولات لوصل قابس بقابس مماثل، وموصلات لوصل قابس بنوع آخر من موصل القابس، والمحولات لربط موصّلات الليف البصري مثل الصمامات الثنائية الباعثة للضوء، وأجهزة التحويل. كما ويتضمن مواصفات إجراءات تقويم الجودة.

IEC61281-1	الأنطمة الثانوية للاتصال المبنية من الألياف البصرية - جزء 1 - مواصفات عامة	1999	يتناول هذا المعيار المواصفات العامة للأنظمة الثانوية للاتصال المبنية من الألياف البصرية بحسب نظام (IEC) لتقويم الجودة. وتصنف المواصفات ضمن مجموعات تشترك في المواصفات المقطعية نفسها. وكل صفة فيها مُكمَلَةٌ بمواصفات تفصيلية تناسب أنواع أو نوع الأنظمة الثانوية.
IEC61291 -1	مضخمات الليف البصري - الجزء الأول - مواصفات عامة	1998	يُطبق هذا المعيار على مضخمات الليف البصري والأنظمة الثانوية المُضخّمةَ بصرياً التي تستعمل أليافاً بصرية ناشطة ومطعمة بالأملاح المعدنية. ويضع كذلك متطلبات موحدة للإرسال، والتشغيل، والجودة، وميزات المضخم الليفي البيئية، بالإضافة إلى أنه يساعد المشتري على اختيار جهاز عالي الجودة للتطبيقات الخاصة.
IEC61315	ضبط جهاز قياس الطاقة البصرية لليف	1995	
IEC61663-1	الحماية من الصواعق - خطوط الاتصالات السلكية واللاسلكية - تنصيب الليف البصري	1999	يتعلق هذا الجزء بحماية خطوط الاتصالات من الصواعق. والهدف منه تقليص عدد الأعطال في كابل الليف البصري في منظومة معيّنة ضمن قيم أقل أو مساوية للحد المسموح به، وتُعرّف بالترددات المسوح بها للأعطال الأولية (Tolerable Frequency of Primary Failures).

IEC61753-1-1	أجهزة الربط البيني للألياف البصرية، ومعايير أداء المكونات السلبية (Passive)– الجزء 1–1: إرشادات ومعلومات عامة – أجهزة الربط البيني (الموصّلات)	2000	إن هذا المعيار عبارة عن معلومات عامة عن معايير أداء موصّلات الليف البصري. ويتضمن المراجع (References)، والتعريفات وقواعد إيجاد معايير الأداء. ويتضمن كذلك معلومات إضافية ذات صلة بالموضوع.
IEC 61757-1	متحسسات الليف البصري – مواصفات عامة	1998	يعرّف هذا المعيار المواصفات العامة للألياف البصرية، والتجميعات الثانوية والمركبات المتخصصة بتحسس التطبيقات ضمن مفاهيم لم تعنون بعد ضمن معيار موحد.
IEC61935-1	أنظمة الكابلات العامة – مواصفات فحص كابلات الاتصال بحسب منظمة القياسات العالمية وISO/IEC 11801 - 1 الجزء – 1 – : الكابلات المنصّبة	2000	يغطي هذا المعيار طرق قياس مرجعية (Reference Measurements) لمقاييس تمديد الكابلات (Cabling Parameters) والفحص الميداني الدقيق لهذه المقاييس التي حدّدت في المعيار (ISO/IEC 11801). ويطبق عندما تتطابق معايير الكابلات المستخدمة مع المعايير: IEC61156-1، أو IEC61156-2، أو IEC61156-3، أو IEC61156-4، وعند توصيل المعدات المذكورة في المعيار IEC60603-7K والمعيار IEC60807-8.
IEC61978-1	مرشح التشتت الألياف البصرية السلبي (Passive)– الجزء – 1 – مواصفات عامة	2000	يصف هذا المعيار مرشحات التشتت السلبية الحساسة للأطوال الموجية التي قد تكون حساسة للاستقطاب أيضاً. بالإضافة إلى أنه يضع متطلبات موحدة لإجراءات تقويم الجودة.

IEC62005-1	كفاءة أجهزة الوصل البيني للألياف البصرية والمكونات السلبية – الجزء – 1 – إرشادات أولية وتعاريف	2001	هو عبارة عن كتيب تقويم كفاءة أجهزة الوصل البيني والمكونات السلبية (Passive). ويطبق كذلك على جميع أنواع أجهزة الوصل البيني والمكونات البصرية السلبية أيضاً.
IEC62077	أداة تحديد اتجاه الطاقة في الليف البصري – مواصفات عامة	2001	يطبق هذا المعيار على أدوات تحديد اتجاه الطاقة المستخدمة في المجالات التي تحتوي على الألياف البصرية وتحمل الخواص الآتية: الأجهزة البصرية غير المتعاكسة التي يكون فيها كل منفذٍ موصولٍ إما بليف أو بموصّل بصري، والمكونات التي لا تحتوي على عناصر إلكترونية ضوئية أو على عناصر أخرى ناقلة للطاقة لديها ثلاثة منافذ أو أكثر للبث الاتجاهي للطاقة البصري.
IEC62099	أجهزة تحويل أطوال موجة الليف البصري – مواصفات عامة	2001	يطبق هذا المعيار على أجهزة تحويل أطوال موجة الليف البصري. ويغطي كذلك الأجهزة والتجميعات ذات الصفات الآتية: بينما تكون وسائل تشغيل التحويل ناشطة، ولكن المسارات البصرية العابرة في جهاز التحويل تكون سلبية. إن كان عمل جهاز التحويل محصوراً بتوجيه الضوء بدلاً من التقسيم المتعمد للطاقة ومن ثم التوجيه. إذا كان لدى الجهاز منفذين أو أكثر لبث الطاقة البصرية بحيث يمكن توجيه الضوء أو منعه بين هذه المفاصل. وعندما تكون المفاصل عبارة عن ألياف بصرية أو موصّلات ألياف بصرية.

ISO 11149	البصريات والمعدات البصرية - الليزرات والمعدات الخاصة بالليزر - موصّلات الليف البصري لتطبيقات الليزر غير المتعلقة بالاتصالات	1997	يقوم هذا المعيار بتعريف المعلومات لمراقبة الموصّلات بين الليف البصري وأجهزة الليزر وتجميعات الكابلات البصرية.
ISO TR 11802/4	تكنولوجيا المعلوماتية - تبادل المعلومات والاتصالات بين الأنظمة - الشبكات المحلية وشبكات المدينة - تقارير تقنية وإرشادات.	1994	يتحدث هذا المعيار عن الميزات الوظيفية، والميكانيكية، والبصرية، والكهربائية للسطح البيني للألياف البصرية لربط شبكة توكن حلقية ذات معدل إرسال يقدر بـ 4 ميغابت أو 16 ميغابت بوحدة قرن (Trunk Coupling Unit).
ISO TR 9578	تكنولوجيا المعلومات - موصلات السطح البيني المستخدمة في الشبكات المحلية	1990	يحدد هذا المعيار الطبقة الفيزيائية (Physical Layer) لجهاز الربط في الشبكة المحلية، وعادة ما تعرف هذه الطبقة بالوسيط الرابط، وتُستَعمَل لربط المعدات مع وحدة القرن في الخط الرئيس في الشبكة. وقد جرى عرض الموصّلات الموصوفة في هذا النص في المقاييس الآتية: JTC1 SC6, SC13,SC83، وIEC TC 46، وIEC TC 48، وIEC TC 86. ويجمع هذا النص بين النصوص المنفصلة التي تصف الأجهزة الفيزيائية ذات المقاييس العالمية المتوافرة حالياً.
ISO/IEC 11801	تكنولوجيا المعلومات - الكابلات العامة لاستخدامات المستهلكين	2000	يحدد هذا المعيار نوع الكابلات العامة المستخدمة في المجال التجاري ذات المساحات الجغرافية (بين 3000 متر مربع والمليون متر مربع) للمكاتب، ولعدد

			يتراوح بين 50 و50000 من المستخدمين. ويتناول كذلك البنية والحد الأدنى من الترتيب للكابلات العامة، وتطبيق المتطلبات للوصلات الفردية، والمتطلبات المتوافقة وإجراءات النصب.
ISO/IEC 14763-1	تكنولوجيا المعلومات – تنصيب وتشغيل الكابلات للمستهلك – الجزء – 1: الإدارة	2001	
ISO/IEC TR 14763-2	تكنولوجيا المعلومات – تنصيب وتشغيل الكابلات للمستهلك – الجزء – 2: التخطيط والتنصيب	2000	جرى في هذا المعيار تعريف المتطلبات، ويؤمن كذلك اعتباراً شاملاً، والمواصفات، وضمان الجودة، وتركيب الكابلات وفق المعيار العالمي ISO/IEC 11801.
ISO/IEC TR 14763-3	تكنولوجيا المعلومات – تنصيب وتشغيل الكابلات للمستهلك – الجزء – 3: التخطيط والتنصيب	2000	يتحدث هذا المعيار عن إجراءات الفحص التي تضمن تناسبية كابلات الليف البصري مع المواصفات العالمية ISO/IEC 11801، والمركبة وفق المواصفات العالمية ISO/IEC 14763-2، المذكورة في هذا التقرير والقادرة على أن تصل إلى مستويات أداء جدية من ناحية البث وفق المواصفات العالمية ISO/IEC 11801.

الملحق ب

يبين هذا الملحق تاريخ الليف البصري بالتسلسل الزمني

2500 ق.م أقدم تاريخ عرف فيه الزجاج.

800 ق.م. سحب الزجاج إلى ألياف.

1790 : اخترع كلود شابيه (Claude Chappe) التلغراف البصري في فرنسا.

1854 : قام جون تيندال (John Tyndall) بشرح مبدأ توجيه الضوء في نفاثات مائية.

1880 : قام ألكسندر غراهام بل (Alexander Graham Bell) باختراع الهاتف الضوئي في واشنطن.

1880 : قام ويليام ويلر (William Wheeler)، في كونكورد، ماساشوستس، باختراع منظومة أنابيب لإنارة المنازل باستعمال مصباح قوس كهربائي يوضع في القبو.

1926 : قدم جون لوجيه بايرد (John Logie Baird) طلباً للحصول على براءة اختراع لمصفوفة من القضبان الزجاجية المتوازية أو أنابيب مجوفة لنقل الصور في تلفاز ميكانيكي. وقام ببناء مصفوفة من القضبان المجوفة لاحقاً.

1930 : قام طالب في كلية الطب، يدعى هينريك لام (Heinrich Lamm)، بتجميع أول حزمة من الألياف الشفافة لنقل صورة سلك رفيع لمصباح كهربائي في ميونخ. وقد رُفض طلبه للحصول على براءة اختراع بسبب براءة الاختراع البريطانية الممنوحة لهانسل (Hansell).

1952 : طلب هارولد هوراس هوبكنز (Harold Horace Hopkins) منحة من الجمعية الملكية من أجل تطوير حزمة من الألياف الزجاجية لتستخدم كمنظار داخلي في الكلية الملكية للعلوم والتكنولوجيا. وقد عيّن نارين‍در كاباني (Narinder S.Kapany) مساعداً له عند حصوله على المنحة.

1962 : قام أليك ريفس (Alec Reeves) من مختبرات الاتصالات القياسية، بتفويض مجموعة من العلماء بإجراء بحث على اتصالات دليل الموجة البصري بإشراف

أنطوني كاربوياك (Antoni E. Karbowiak). وكانت الألياف البصرية أحد الأنظمة التي جرت دراستها.

1964: تولى تشارلز كاو (Charles K. Kao) منصب المشرف على برنامج بحوث ودراسة الاتصالات البصرية في مختبرات الاتصالات القياسية، وذلك عندما ترك كاربوياك (Karbowiak) المختبرات، ليتولى منصب عميد كلية الهندسة الكهربائية في جامعة نيوساوث ويلز (The University of New South Wales). وفي وقت لاحق قام كل من كاو وجورج هوكهام (George Hockham) بالتخلي عن دراسة دليل الموجة ذات الشريط الرقيق لصالح الليف البصري مفرد النمط.

1966: قام كاو بإخبار معهد المهندسين الكهربائيين في لندن أنه بالإمكان تخفيض الفَقْد في الألياف إلى ما دون 20 دسيبل في الكيلومتر الواحد في الاتصالات ما بين مكاتب المؤسسة الواحدة.

1966: قام كل من كاو وهوكهام بنشر اقتراحهما في مجلة (*Proceedings of the Institution of Electrical Engineers*).

1967: قام مكتب البريد البريطاني بتخصيص مبلغ إضافي قدره 12 مليون جنيه استرليني للبحوث. وقد خصّص قسم من هذا المبلغ لدراسة الألياف البصرية.

1972: قام كل من موررير (Maurer)، وكيك (Keck)، وشولتز (Schultz)، بصناعة ليف متعدد الأنماط منشط بالجرمانيوم ذي فقد يقدر بـ 4 dB/km، بالإضافة إلى كونه أقوى بكثير من الليف المنشط بالتيتانوم.

1975: قامت شرطة مدينة دورست (Dorset) في المملكة المتحدة بنصب أول وصلة ليف بصري لغايات غير اختبارية بعد أن تعرضت منظومة الاتصال لديها لأضرار نتيجة البرق.

1977: اتفقت شركة الهاتف والتلغراف الأميركية (AT&T) وشركات الاتصال الأخرى على استعمال مصدر ضوئي من زرنيخيد الغاليوم ذي طول موجة 850 نانومتر وليف متدرج المعامل في منظومات الاستعمال التجاري التي تعمل بسرعة 45 مليون بت في الثانية.

1978: تعهدت كل من شركة الهاتف والتلغراف الأميركية (AT&T) ومكتب البريد البريطاني بتطوير كابل ليف بصري مفرد النمط عابر للمحيط الأطلسي مستخدمين مصدراً ضوئياً ذا 1.3 ميكرومتر، على أن يصبح هذا النظام قيد التشغيل بحلول عام 1988. وفي نهاية عام 1978، تخلت مختبرات بل عن البحوث التي كانت تجريها من أجل تطوير كابلات متحدة المحور للمنظومات المستخدمة تحت الماء.

1982 : قامت شركة (MCI) باستئجار حقوق تركيب ليف مفرد النمط بين مدينتي نيويورك وواشنطن. ويعمل النظام بسرعة 400 مليون بت في الثانية عند 1.3 ميركرومتر. وكان هذا ما جعل الشركات والمصانع أن تتحول إلى استخدام الليف البصري مفرد النمط في أميركا.

1984 : قامت شركة الاتصالات البريطانية، بوضع أول ليف تحت الماء لنقل دفق المعلومات إلى جزيرة وايت.

1986 : وُضع أول سلك ليف بصري في الخدمة عبر القناة الانجليزية.

1986 : أرسلت شركة الهاتف والتلغراف الأميركية 1.7 مليار بت في الثانية عبر ليف مفرد النمط مركب أصلاً لنقل 400 مليون بت في الثانية.

1986 : قامت شركة TAT-8 بوضع أول كابل ليف بصري عابر للمحيط الأطلسي موظِّفة بذلك ليرز طول موجته 1.3 ميكرومتر وليف مفرد النمط.

1996 : أعلنت كل من شركة فوجيتسو (Fujitsu)، ومختبرات أن. تي. تي. (NTT) ومختبرات بل عن نجاح عملية إرسال تريليون بت في الثانية الواحدة عبر سلك ليف بصري واحد في تجارب منفصلة أجرتها كل شركة على حدة وتقنيات مختلفة.

الثبت التعريفي

بسبب «التوافق العالمي» عليها، فإن كثير من هذه التعريفات والمصطلحات لها معاني وتطبيقات محددة غير المعاني التي نجدها في القواميس العادية.

الامتصاص (Absorption): هو فقد القدرة في كابل الليف البصري والناتج من تحوّل القدرة البصرية إلى حرارة. وينتج بالأساس عن الشوائب العديدة، مثل المعادن الانتقالية، وأيونات الهيدروكسيل **(Hycroxyl Ions)**، وقد يحدث ايضاً إذا ما تعرّض الليف إلى إشعاع نووي.

زاوية القبول (Acceptance Angle): وهي نصف زاوية المخروط التي ينعكس فيها الضوء الساقط داخلياً وكلياً في لب الليف. وهي الزاوية التي يقبل لب الليف البصري فيها الضوء القادم، وتُقاس عادة ببعدها عن محور الليف. وتعادل زاوية القبول قوس جيب زاوية (Arcsine) أو NA حيث إن الفتحة NA هي الفتحة العددية.

مخروط القبول (Acceptance Cone): وهو المخروط الذي يحتوي على الأشعة الضوئية التي ستنتشر في الليف البصري.

المنطقة الناشطة (Active Area): وهي المساحة التي تكون فيها استجابة الكاشف في أعلى مستوياتها.

تضمين السعة (Amplitiude Modulation): وهي تقنية بث حيث يتم تضمين سعة الناقل حسب حجم المعلومات التي يتم نقلها.

التماثلية (Analog): وهي صيغة تستخدم عوامل فيزيائية مستمرة (مثل سعة الفولتية وتردد الناقل) لبث المعلومات.

زاوية الانحراف (Angle of Deviation): وهي الزاوية الواقعة بين الشعاع الأصلي الساقط والشعاع المنبثق.

زاوية السقوط (Angle of Incidence): وهي الزاوية الواقعة بين الشعاع الساقط والشاقول النازل على السطح العاكس أو المنكسر.

فقد خطأ الاصطفاف الزاوي (Angular Misalignment Loss): وهو فقد القدرة البصرية الناتجة من الانحراف الزاوي عن محور الاستقامة القصوى للمصدر بالنسبة إلى الليف البصري.

الميل الزاوي (Angular Tilt): وهي الزاوية الناتجة من محوري الليفيين اللذين سيتم وصلهما مع بعضهما. يولّد الميل الزاوي فَقْداً عارض (Extrinsic Loss) يعتمد على المعدات والطريقة المستخدمة للوصل.

جدائل الأراميد (Aramid Yarns): وهو عنصر تقوية يستخدم لتزويد رزمات كابل الليف البصري بحماية إضافية. وعنصر كيفلار (Kevlar Member) هو واحدٌ من أصناف جدائل الأراميد العديدة.

درع/ صفيحة واقية (Armour): وهو عبارة عن حماية إضافية لتحسين مقاومة الكابل ضد السحق، والانقطاع، والتمزق. وعادة ما تكون عبارة عن شريط فولاذي. وتستخدم كذلك مقويات من البلاستيك الخشن مع الفولاذ أو عنصر البلاستيك المقوّى في كثير من التصاميم الحديثة للكابلات.

الشيفرة الأميركية القياسية المعتمدة لتبادلِ المعلومات (American Standard Code for Information Interchange - ASCII): وهي عبارة عن شيفرة من 8 بتات حيث تتمثل الأحرف، والأرقام،

والرموز بـ 7 بتات. وأما البت الثامن فيستخدم لفحص التماثل (Parity Check).

ملاحظة: تستخدم شيفرة الأرقام العشرية من 0 إلى 47 لرموز أوامر الكمبيوتر. وأما شيفرة الأرقام العشرية من 48 إلى 57 فتستخدم للأعداد (0 إلى 9). كما إن شيفرة الأرقام العشرية من 65 إلى 90 فتستخدم للحروف الكبيرة (A-Z). وأما شيفرة الأرقام العشرية من97 إلى 122 فتستخدم للحروف الصغيرة (A-z). ومثلاً، فإن الحرف اللاتيني «A» يتمثل بالرقم العشري 65، فالكومبيوتر «يقرأ» الشيفرة الثنائية على شكل (01000001)، وهذه الشيفرة تعني الحرف "A".

تستخدم معظم الكومبيوترات شيفرة البتات الـ 8 (أي الشيفرة الموسّعة الأميركية المعتمدة لتبادلِ المعلومات) والتي تنتج 256 تركيبة مختلفة لتمثل الرموز، بالإضافة إلى مجموعة الحروف المتمثلة بنظام (ASCII) العادي (أي من 0 إلى 127 في النظام العشري)، وبالتالي فإن النظام الموسّع فيه 128 شيفرة إضافية يمكن أن تستخدم لتمثّل رموز إضافية (مثل الحروف غير الإنجليزية أو الرموز البيانية).

البث غير المتزامن (Asynchronous Transmission): نمط بث حر تكون فيه الفترات الزمنية بين الرموز غير متساوية.

التوهين (Attenuation): انخفاض في الطاقة البصرية عند مرورها في الليف. وعادة ما يرمز إليها بالدسيبل. انظر الفَقْد البصري.

الموهن (Attenuator): وهو جهاز يستعمل لزيادة التوهين في الليف البصري الرابط. كما يستعمل عادة لضمان عدم تزايد قوة الإشارة عند الطرف المستقبل عن حدها.

الصمام الثنائي الضوئي التيهوري (Avalanche Photodiode): وهو صمام ثنائي ضوئي يقوم بتضخيم داخلي للتيار الضوئي من خلال مضاعفة تيهور الناقلات في نقطة الربط. ومع اقتراب فولتية الانحياز العكسي من حالة الانهيار (Breakdown)، فإن زوج من

الفتحات الإلكترونية الناتجة من الفوتونات التي جرى امتصاصها تكتسب طاقة كافية لخلق زوجين إضافيين من الفتحات الإلكترونية عندما تتصادم مع الأيونات. وبذلك تحصل عملية التضاعف أو الكسب في الإشارة.

معدل القدرة (Average Power): وهو معدل مستوى القدرة في الإشارة التي تتغير مع الزمن.

الشعاع المحوري (Axial Ray): وهو شعاع ضوئي ينتقل على طول محور كابل الليف البصري.

الانعكاس الخلفي (Back Reflection): وهو الضوء المنعكس من طرف الليف المصقول أو المشقوق الناتج من الفرق في معامل الانكسار للهواء والزجاج.

ملاحظة: تساوي نسبتها عادة 4 في المئة من نسبة الضوء الساقط. وهي تُقاس بالدسيبل قياساً بالطاقة الساقطة.

الاستطارة الخلفية (Backscattering): وهي عودة جزء من الضوء المستطار إلى طرف دخل الإشارة (Input Signal) في كابل الليف البصري. وهذا يعني استطارة الضوء في اتجاه معاكس للاتجاه الأصلي. تستخدم الاستطارة الخلفية لحساب القياسات في جهاز المقياس البصري لقياس انعكاسية المجال الزمني (OTDR).

تمرير نطاقي (Bandpass): نطاق من أطوال موجية تتطابق فيها المكونات مع المواصفات.

السعة الموجية (Bandwidth):

1. قدرة سعة كابل الليف البصري على حمل المعلومات.

2. نطاق ترددات الإشارة أو معدل البتات التي تعمل فيها الوصلات أو الشبكة.

3. الفرق بين الترددات الدُنيا والعليا التي يمكن أن ترسل في قناة الاتصال.

ملاحظة: عند استخدام مصطلح السعة الموجية (Bandwidth) في هندسة الراديو، فإنها تعني قياس عدد الدورات في الثانية (بالهيرتز، Hz)، إلا أن عبارة «سعة الموجة» أصبحت تستخدم اليوم أيضاً لتحديد قنوات إرسال البيانات الرقمية. ويرمز الهيرتز إلى البت في الثانية الواحدة (bit/s)، فإن سعة الموجة في الإيثرنت هي 10 ميغاهيرتز (Megahertz).

عمليات ذات السعة الموجية المحدودة (Bandwidth-Limited Operation): وهي عندما يكون فيها الأداء محدوداً بسبب سعة الموجة وليس بسبب طاقة الإشارة المتلقاة في وصلات الألياف البصرية للاتصالات. ويحدث ذلك عندما تصبح الإشارة مشوّهة (بسبب التشتت).

نطاق أساسي (Baseband): وهي طريقة اتصال تنتقل فيها الإشارة بترددها الأصلي بدلاً من بثها محمولة على ذبذبة ناقلة.

Baud: مقياس سرعة الإشارة في نظام اتصال رقمي، وهي وحدة سرعة بث إشارة البيانات وتوازي عدد رموز الإشارة لكل ثانية.

ملاحظة: وهذا شبيه بمعدل إرسال البيانات في أنظمة التضمين الثنائي، إلا أنه مختلف عن معدل الإرسال في منظومات التضمين غير الثنائي.

مقسم الشعاع (Beam Splitter): وهو جهاز بصري مثل مرآة عاكسة جزئياً لتقسيم الشعاع البصري إلى شعاعيين منفصلين أو أكثر، ويمكن استخدامه في وصلة كابل الليف البصري البيانية في مقرن متعدد الاتجاهات.

فقد الالتواء (Bending Loss): هو التوهين الذي يحصل للإشارة البصرية بسبب التواء بنسبة نصف شعاع، فالضوء سوف «يتناثر للخارج» من اللب ويضيع في التصفيح.

شعاع الالتواء (Bend Radius): هو أصغر قُطر يمكن لليف أن

ينحني حوله من دون حدوث تلف دائم قد يظهر على شكل توهين مفرط أو حتى كسر.

ثنائي التمخرط (Biconic): هو نوع من أنواع الموصّلات له أسطوانة ملوية تثبّت على كابل الليف البصري. وقد استخدم هذا النوع من الموصلات في المراحل الأولى من منظومات الألياف البصرية، ولكنه قلما يستخدم الآن.

شيفرة بالنظام الثنائي (Binary Code): نظام شيفرة رقمي عبارة عن سلسلة من نوعين من الرموز (مثل 0 و1) ليمثل البيانات. ويسمى هذان الرمزان بالبت. (اختصار للأرقام الثنائية أو binary Digits).

البت (Bit): رقم ثنائي يكون عادة إما «0» أو «1». وهو أصغر تمثيل للمعلومات في أنظمة الاتصالات أو في أنظمة الحوسبة.

معدل خطأ البت (BER) (Bit Error Rate):

1. النسبة المئوية للبتات التي استقبلت بصورة غير صحيحة.
2. جزء من بتات مشوهة جرى استقبالها بشكل خاطىء.

معدل البت (Bit Rate): عدد بتات البيانات المنقولة في الثانية الواحدة عبر رابط اتصال.

معدل انتقال البت (Bit Transfer Rate): وهو معدل انتقال البت. ويعبر عنه بالبت في الثانية أو (Bit per Second - bps).

كَبل نَبْطة (Breakout Cable): وهو كابل يتضمن ألياف بصرية متعددة بني بتصميم محكم الصد وصُمم لتسهيل تطبيق التوصيلات الصعبة و/ أو التطبيقات في البنايات أو الوصل بين البيانات.

الموجة العريضة (Broadband): وهو بث دفق من البيانات الرقمية عبر قناة ذات سعة موجية واسعة باستخدام إشارة تناظرية معدلة. إن بالإمكان بث تدفقات عدة معلومات باستخدام ذبذبات ناقلة مختلفة.

الإرسال أو البث (Broadcast): استراتيجية اتصال ذات قناة

مفردة تستخدمها مفاصل الشبكة كلها. تصل الرسائل المرسلة من مفصل واحد إلى كل المفاصل الأخرى، ولكنها تُهمَل من قبل المفاصل التي لا تعنى بهذه الرسالة.

الصاد (Buffer): طبقة واقية لكابل الليف البصري، مثل الطلاء، أو غلاف داخلي، أو أنبوب صلب.

الطلاء الصاد (Buffer Coating): وهو طبقة واقية، مثل البوليمر الأكرليكي (Acrylic polymer) توضع فوق تصفيح كابل الليف البصري.

الأنبوب الصاد (Buffer Tube): وهو أنبوب بلاستيكي ذو قُطر داخلي يوازي عدة أضعاف قُطر كابل الليف البصري، ويحتوي على كابل أو أكثر من كابلات الليف البصري.

الليف المصدود (Buffered Fiber): كابل ليف بصري محمي بمادة إضافية، مثل هيترل (Hytrel) أو النايلون (Nylon) لتسهيل التعامل مع الليف، والتوصيل، والتخفيف من جهد الشد.

الربطة (Bundle): وهي عبارة عن مجموعة من كابلات الألياف البصرية ضمن غلاف واحد أو أنبوب صاد و/ أو مجموعة من كابلات الليف البصري المصدودة التي يجري تمييزها بنمط معين يختلف عن المجموعة الأخرى في قلب الكابل نفسه.

ناقل البيانات (Bus): يستخدم هذا المصطلح لوصف التوصيل الفزيائي بين المحطات التي تشترك في شبكة الاتصالات العمومية نفسها مع منظومات أخرى.

شبكة ناقل البيانات (Bus Network): وهي طريقة تركيب شبكة حيث يجري ربط كل الأجهزة بوسيط اتصال يعمل كناقل بيانات حيث تستلم الأجهزة الموصولة الإشارات المرسلة من الطرف النهائي الموصول بناقل البيانات.

بايت (Byte): هي وحدة تتكون من 8 بتات.

كابل (Cable): وهي عبارة عن ليف أو أكثر مطوّقة في أغلفة واقية وعناصر مقوية تحمي من الصدمات.

مُجمّع كابلي (Cable Assembly): وهو كابل ليف بصري يتضمن موصّلات مركّبة عند طرف واحد أو كلا الطرفين، وتستعمل للوصل بين أنظمة الليف البصري ذات النمط المفرد أو متعدد الأنماط ومعدات الإلكترونيات البصرية.

ملاحظة: إذا كانت الموصّلات مركبة عند طرف واحد من الكابل، فإنها تعرف بكابل التوصيل (Pigtail)، أما إذا كانت الموصّلات قد ركبت عند كلا الطرفين، فإنها تعرف بوصلة خطية من الكابلات (jumper).

قُطر التواء الكابل (Cable Bend Radius): أثناء التنصيب يدل هذا على أن الكابل يخضع لجهد الشد.

تحسس الناقل للإرسال المتعدد (Carrier Sense Multiple Access - CSMA): وهو إجراء روتيني تقوم به المحطة قبل أن تبدأ عملية الإرسال إلى الشبكة حيث ستقوم المحطة بالولوج إلى الشبكة لتتفقد إذا كان ناقلٌ ما يستخدمها. ومن ثم تبدأ عملية البث إلى الشبكة إن لم يجري اكتشاف ناقل ناشط فيها.

تحسس الناقل للإرسال المتعدد ذا كاشف تصادم (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection - CSMA/CD): وهي تقنية مستخدمة في الشبكة المحلية المبنية على الإيثرنت للتحكم بقناة الإرسال، وتضمن عدم وجود تصادم بين الأطراف التي تريد أن تبث الإشارات.

تحسس الناقل للإرسال المتعدد ذا كاشف تصادم (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection - CSMA/CD): وهو نوع من أنواع الشبكات (مثل الإيثرنت) التي تقوم فيه الأجهزة الموصولة بالمراقبة باستمرار. واذا تداخلت الرسالة مع رسالة أخرى على الشبكة

يجري كشف هذا التداخل ويعاد إرسالها من جديد.

طول الموجة المركزي (Centre Wavelength): وهو الطول الموجي الذي يمكن أن يعتبر مركز المصدر الضوئي.

العضو المركزي (Central Member): المركب المركزي لكابل الليف البصري الذي يخدم كعنصر غير قابل للتشوه وغير متساوٍ، فهو مقاوم لدرجة الحرارة المتولدة (و/ أو كعنصر تقوية) ويتكون من فولاذ، أو ليف زجاجي، أو من البلاستيك المقوى بالزجاج.

المكتب المركزي (Central Office): وهو المكان الذي تقوم فيه ناقلات الاتصال المشتركة بإنهاء القناة التي يَشغَلُها المشترك، ويقوم بتحديد موقع معدات التحويل التي توصل بين هذه القنوات.

البصريات العاكسة المتناظرة مركزياً (Centro-Symmetrical Reflective Optics): وهي تقنية بصرية تُستخدم فيها مرآة محدبة للتحكم بإقران الضوء من كابل ليف بصري إلى آخر.

القناة (Channel): وهي عبارة عن:

1. مسار اتصالات مشتق من وسيط إرسال معين، مثل كابلات الليف البصري. وتسمح قناة الاتصالات بانتقال المعلومات من طرف إلى طرف، من المصدر والوجهة.

ملاحظة: تحتاج القناة بالإضافة إلى الوسيط الناقل إلى مرسل/ مستقبل (Transceiver) ومضمم/ مزيل التضمين (Modulator/Demodulator- Modem). إن بإمكان قنوات عديدة أن تتشاطر وسيط البث نفسه من خلال التضاعف. والقناة معناها الرابط، ويستخدم مصطلح القناة عادةً في سياق التضاعف، ولكن ليس دائماً.

2. مسار اتصالات لبث البيانات بين نقطتين.

السعة الموجية اللونية (Chromatic Bandwidth): هو عكس التشتت اللوني.

التشتت اللوني (Chromatic Dispersion): الانتشار المؤقت

للذبذبة في دليل الموجة البصري. ينتج عادة من اعتماد الطول الموجي على سرعات الضوء.

التصفيح (Cladding): وهو زجاج أو بلاستيك ذو معامل انعكاس منخفض القيمة يحيط بلب الليف البصري.

نمط التصفيح (Cladding Mode): وهو النمط المحصور داخل التصفيح.

الشق (Cleaving): وهو كسرُ مفتعل في الليف، بحيث يكون سطح هذا الكسر ناعماً.

الطلاء (Coating): وهو مادة توضع على كابل الليف البصري أثناء عملية السحب لحمايته من البيئة.

ضوء أو موجات ضوئية مترابطة الذبذبة (Coherent Light or Light Waves): وهو ضوء تكون فيه كل المقاييس معروفة ومرتبطة ببعضها بعضاً في أي نقطة خلال الزمن أو المجال، تحديداً فوق المساحة العمودية في اتجاه البث أو حتى على الزمن في نقطة محددة في المجال.

المركز (Concentrator): هو مكرر متعدد القوابس.

قناة أو أنبوب (Conduit): هو أنبوب أو قناة تُمد من خلاله الكابلات أو تغلف داخل جدران المبنى.

الموصّل (Connector): وهو مكوّن إنهاء (Termination Component) يثبت على أطراف كابلات الليف البصري ويسمح بالوصل الفيزيائي للضوء والإقران البصري للكابلات البعيدة، والمرسلات، والمستقبلات، والأجهزة الأخرى.

اللب (Core): وهو مركز الليف البصري الذي ينتقل الضوء خلاله.

اختلاف مركزية اللب (Core Eccentricity): وهو مقياس إزاحة مركز اللب بالنسبة إلى مركز التصفيح.

المُقْرن (Coupler): جهاز بصري يقوم بشطر أو دمج الضوء في أكثر من ليف واحد.

كفاءة الإقران (Coupling Efficiency): الكفاءة التي تنتقل فيها الطاقة الضوئية بين مركبين.

فقد الإقران (Coupling Losses): وهي حالة عن فقد القدرة عند إقران ضوء من جهاز بصري إلى آخر.

نسبة الإقران (Coupling Ratio): وهي نسبة الضوء المنتقل إلى قابس خرج الضوء مُستقبِل وهي نسبوية على القدرة الكلية لكل قوابس خرج الضوء الأخرى.

الزاوية الحرجة (Critical Angle): وهي زاوية الحد الأدنى التي ينعكس فيها الشعاع البصري كلياً وداخلياً.

التشويش الصوتي (Crosstalk): وهو التقاط كابل الليف البصري لضوء غير مرغوب فيه من كابل ليف بصري آخر.

الطول الموجي للقطع (Cut-off Wavelength): وهو الطول الموجي الذي يقع ما بعد الطول المستخدم لبث نمط واحد فقط في الليف مفرد النمط.

التيار المتبقي (Dark Current): وهو تيار الضوضاء المتولد من صمام ثنائي ضوئي في حال عدم تعرضه إلى أي ضوء.

موصل البيانات (Data Link): وهو جهاز إرسال عبارة عن كابل ليف بصري وجهاز استقبال ينقل البيانات الرقمية بين نقطتين.

معدل البيانات (Data Rate): وهو عدد بتات المعلومات المرسلة في الثانية الواحدة في منظومة البث لتبادل المعلومات البيانية.

الدسيبل (dB): وحدة قياس الفَقْد أو التوهين المكافئ (Equivalent attenuation). وفي الألياف البصرية تعرف نسبة الطاقة بالدسيبل $dB = 10 \log_{10} (P_1/P_2)$

إزالة التضمين (Demodulation): إعادة إيجاد دفق البيانات الأصلية من إشارة مضممة.

قسمة التردد (Demultiplex): شطر الإشارة التي جرى مضاعفتها إلى الأجزاء الأصلية المكونة منها.

الكاشف (Detector): وهو جهاز (صمام ثنائي، فوتودارلنجتون «Photodarlington»، والمرسلات الضوئية) يولد إشارة تيار كهربائي عندما يجري إضاءتها.

فقد عدم انسجام القُطر (Diameter Mismatch Loss): فقد القدرة في نقطة ارتباط يحدث عندما يكون قُطر الطرف المُرسَل أكبر من قطر الطرف المُستقبَل.

الموصل الماسي (Diamond Connector): نوع من الموصلات.

مرشح للون ما تحت الأحمر (Dichroic Filter): وهو مرشح بصري ينقل اللون بالانتقاء حسب الطول الموجي.

شبكية الحيود (Difraction Grating): وهي سلسلة من الخطوط المرسلة أو المنعكسة، والرفيعة، والمتوازية، والمتساوية المسافات، التي تركز الضوء المنحرف باتجاهات معيّنة محددة بواسطة الفراغات بين الخطوط والطول الموجي للضوء.

الرقمي (Digital): تشكيلة بيانات تستخدم عدداً من المستويات المنفردة القابلة للعدد والمحدودة لنقل المعلومات. والرقم الثنائي هو حالة خاصة من هذا التطابق في مستويين.

الإشارة الرقمية (Digital Signal): وهي إشارة مشفّرة بمستويات منفصلة تتألف من الرقم الثنائي «1» والرقم الثنائي«0».

صمام ثنائي (Diode): وهو جهاز إلكتروني يسمح بتدفق التيار باتجاه واحد فقط. ويشمل الصمام الثنائي المستخدم في الألياف البصرية باعثات الضوء (الصمامات الثنائية الباعثة للضوء والصمامات الثنائية الليزرية) والكواشف (الصمامات الثنائية البصرية).

المقرن الاتجاهي (Directional Coupler): وهو مقرن الليف البصري ينقل الضوء من قابس دخل الإشارة إلى قابس خرج أو أكثر.

الاتجاهية (Directivity): وهي مقدار الطاقة التي جرى قياسها عند قابس دخل الإشارة بالنسبة إلى طاقة الإشارة الداخلة الأولية.

التشتت (Dispersion): وهو مصطلح عام للظواهر التي تسبب توسيع أو انتشار الضوء أثناء بثه داخل كابل الليف البصري.

نظام مُوزّع (Distributed System): وهو نظام يحتوي على محطتين أو أكثر من المحطات الذكية المربوطة بواسطة شبكة تبادل المعلومات.

مادة التنشيط أو الاشابة (Dopant): وهي مادة مثل أكسيد الجرمانيوم أو البورون تضاف إلى السليكا لتغير معامل الانكسار فيها.

السحب (Drawing): وهي عملية تصنيع يجري فيها اشتقاق كابل الليف البصري من الزجاج المشكل مسبقاً.

الكابل المزدوج (Duplex Cable): وهو كابل ذو ليفين مناسب للإرسال المزدوج (باتجاهين).

البث المزدوج (Duplex Transmission): بث مزدوج متزامن منفصل في كلا الاتجاهين على طول رابط الاتصال.

صمام ثنائي باعث للضوء من الحافة (Edge Emitting Diode): وهو صمام ثنائي يبعث الضوء من حافة شريحة شبه موصل ويولد طاقة أعلى وعرض طيفي ضيق.

الإشعاع الكهرومغنطيسي (Electromagnetic Radiation): وهي مجالات كهربائية ومغنطيسية متذبذبة عمودية على بعضها بعضاً تنتقل بسرعة الضوء. ويشمل هذه الطيف الموجات الراديوية، والموجات الميكروية، والأشعة تحت الحمراء، والضوء المرئي، والأشعة فوق البنفسجية، والأشعة السينية.

الباعث/ المُرسل (Emitter): مصطلح يستخدم لمصدر الضوء.

التشفير (Encoding): نظام لتمثيل الأرقام الثنائية (الواحد والصفر) من خلال دمج حالات فولتات عالية ومنخفضة.

الفصل بين الأطراف (End Separation): وهي المسافة الفاصلة بين طرفي ليفين بصريين موصولين ببعضهما بعض.

كمية الفَقْد بين الطرف والطرف (End-to-End Loss): وهو الفَقْد البصري الناتج من كابل الليف البصري، والوصلات، والموصّلات المركبة على كابل الليف البصري.

المنظار الداخلي (Endoscope): وهو جهاز لإرسال صورة بصرية على طول أنبوب ثابت أو مرن، ويستخدم لأغراض الفحص الميكانيكي وفي الآلات الطبية.

توزيع النمط المتوازن (Equilibrium Mode Distribution): ويعني الحالة المستقرة لكابل ليف بصري متعدد الأنماط لا يعتمد فيه توزيع الطاقة النسبي بين الأنماط على طول كابل الليف البصري.

مضخم الليف المنشط بالإيربيوم (Erbium-Doped Fiber Amplifier): وهو نوع من كابلات الليف البصري يضخم الإشارات البصرية التي يُساوي طولها الموجي 1550 نانومتر عندما يجري ضخها من مصدر ضوئي ذي طول موجي يتراوح بين 980 إلى 1480 نانومتر.

الإيثرنت (Ethernet): هي شبكة توظف تقنية (CSMA/CD) المستخدمة بشكل واسع في الشبكات المحلية.

الموجة المتلاشية أو السريعة الزوال (Evanescent Wave): وهو الضوء المُوجَه على طول الجزء الداخلي لتصفيح الليف البصري.

الموصل الشعاعي المتمدد (Expanded Beam Connector): وهو الموصل الذي يتمدد فيه قُطر الشعاع للضوء المنبثق من الليف، ومن ثم يُركز على لب ليف آخر.

الفقد العرضي (Extrinsic Losses): فقد الإشارة خلال الإرسال في كابل بصري ينتج من الرصف غير الدقيق لكابلات الألياف

البصرية المربوطة مع بعضها بواسطة موصّل أو وصلة.

فريول أو أنبوب الربط (Ferrule): وهو جزء من الموصّل يربط كابل الليف البصري في مكانه ويساعد في تراصفه.

الليف (Fiber): وهو دليل الموجة البصرية ويتكون من شعيرات رفيعة من زجاج ذي لب وتصفيح. إن هذا الليف قادر على نقل المعلومات على شكل ضوء.

المضخم الليفي (Fiber Amplifier): وهو مضخم بصري يستخدم الأيربيوم أو الألياف المنشطة بالإيربيوم أو المنشطات الأخرى، ويضخ ضوء الليزارات ليزيد من طاقة الإشارة الخارجة من دون تحويل إلكتروني.

السعة الموجية لليف (Fiber Bandwidth): وهي أقل تردد يقل فيه مستوى عمل الليف في البث إلى جزء من قيمة الذبذبة الصفرية (Zero Frequency).

رزمة ألياف (Fiber Bundle): وهي مجموعة من كابلات الألياف البصرية غير المصدودة تستخدم عادة كقناة نقل مفردة.

واجهة بينية لليف توزيع البيانات (Fiber Distributed Data Interface - FDDI): وهي عبارة عن شبكة ألياف بصرية عالية السرعة.

شبكة بينية لليف توزيع البيانات (Fiber Distributed Data Interface Network): هي شبكة اتصال عبر حلقة توكن مصممة خصيصاً لكابل الليف البصري. وتظهر حلقات ثنائية ذات دوران عكسي تعمل بسرعة 100 ميغابت في الثانية.

الفقد في الليف (Fiber Loss): وهو توهين (التلف التدريجي) الإشارة الضوئية عند انتقالها في كابل الليف البصري.

وصلة الليف البصري الرابط بين المكررات (Fiber Optic Inter-

(Repeater Link: وهو معيار يحدد جودة كابل الليف البصري الذي يصل بين جهازي تكرار في شبكة (IEEE 802.3).

الرابط الليفي البصري (Fiber Optic Link): وهو أي قناة بث تَستخدم كابل الليف البصري كوسيط ناقل لربط طرفين مع بعضهما أو وصلها بالتسلسل مع قنوات أخرى.

الألياف البصرية (Fiber Optics): وهو فرع من تكنولوجيا الإلكترونيات، والبصريات، وتبادل المعلومات، تتعلق ببث الإشعاع الكهرومغنطيسي عبر ألياف رفيعة مصنوعة من مواد شفافة مثل الزجاج، السليكا المنصهرة والبلاستيك.

دليل الموجة الليفي البصري (Fiber Optic Waveguide): وهو كابل طويل نسبياً من مادة شفافة (عادة الزجاج) قادرٌ على توصيل الموجة الكهرومغنطيسية لطول موجة بصرية (في المنطقة قرب المرئية في طيف التردد)، بالإضافة إلى القدرة على حصر الموجات البصرية العمودية الاتجاه أو قرب العمودية الاتجاه نحو الداخل بواسطة الانعكاس الداخلي.

مضاعفة بتقسيم التردد (Frequency Division Multiplexer - FDM): مضاعفة الإشارة وذلك باختيار تردد ناقل مختلف لكل منها، ومن ثم جمعها بإشارة واحدة.

تضمين التردد (Frequency Modulation): وهي تقنية بث يتغير فيها التردد الناقل بتناغم مع المعلومات التي يجري نقلها.

فقد انعكاس فرنسل (Fresnel Reflection Loss): وهو فقد القدرة البصرية حسب مبدأ فرنسل للانعكاس.

النمط الأساسي (Fundemental Mode): وهو أقل ترتيب لنمط البث في دليل الموجة.

المُقْرن المنصهر أو الفاصم (Fused Coupler): الطريقة لصنع مقرن متعدد الأنماط أو مفرد النمط من خلال جَدل كابلات الألياف

البصرية مع بعضها، ومن ثم تسخينها وسحبها لتشكل كتلة مركزية موحدة. وبذلك، فإن الضوء في أي نقطة دخل في كابل الليف البصري سوف يقرن على كل نقاط الخرج في كابل الليف البصري.

الوصل الانصهاري (Fusion Splice): وهو عبارة عن ليفين بصريين بواسطة الانصهار الفيزيائي من خلال تسخين طرفي الأسلاك ولصقهما.

الواصل الانصهاري (Fusion Splicer): وهي آلة تقوم بوصل الألياف من خلال صهرها ولحيمها باستخدام القوس الكهربائي (Electrical arc).

التوصيل عن طريق الانصهار (Fusion Splicing): وهو ربط دائم مقترن مع استخدام التسخين الموضعي.

ليف بصري متدرّج المعامل (Graded Index Fiber): وهو الليف البصري ذو لب مكون من حلقات زجاجية متحدة المركز تقل فيها معاملات الانكسار من المحور المركزي الذي يقلل الانتشار الشكلي.

ليف بصري بمعامل انكسار متدرج (Graded Index Profile): وهو أي معامل انكسار يتغير مع تغيير شعاع لب الليف.

التصفيح الصلب للسليكا (Hard-Clad Silica): وهو الليف الزجاجي ذو التصفيح البلاستيكي الصلب الذي يحيط باللب الزجاجي المصنوع من السليكا.

الموصل الذكر/ الأنثى (Hermaphrodite Connector): وهو زوج موصّل يحتوي كل جزء فيه على قابس (ذكر) ومقبس (مؤنث).

الكابل الهجين (Hybrid Cable): وهو كابل يتكوّن من كابل الليف البصري والموصلات الكهربائية.

الفقد بسبب الهيدروجين (Hydrogen Losses): ينتج التزايد في توهين الليف من انتشار الهيدروجين.

زاوية السقوط (Incident Angle): وهي الزاوية الواقعة بين

الشعاع الساقط والخط العمودي على السطح الضوئي.

مادة لمطابقة المعامل (Index Matching Material): وهي مادة مستخدمة في نقاط الوصل البينية البصرية لديها معامل انكسار يُساوي معامل انكسار لب الليف البصري تقريباً.

الأشعة تحت الحمراء (Infrared): وهي الموجات الكهرومغنطيسية الواقعة بين الجزء المرئي في الطيف (750 نانومتو تقريباً) والموجة الميكروية (30 نانومتر تقريباً).

الحقن بالليزر (Injection Laser): شبه موصل أو صمام ثنائي ليزري.

فقد الإدخال (Insertion Loss): وهو الفَقْد في طاقة الإشارة الناتج بسبب إقحام مُركب سالب (Passive) (كما في المقرنات النجمية الخطية والوصلات) في المسار المستمر.

البصريات المتكاملة (Integrated Optics): تصميم وتطبيق الأجهزة البصرية التي تقوم بعدة نشاطات عند سطح ترسبي واحد.

الإلكترونيات البصرية المتكاملة (Integrated Optoelectronics): تكامل الأجهزة البصرية والإلكترونية على الشريحة نفسها.

المنظمة العالمية للمعايير (International Standards Organization - ISO): وهو كيان مستقل عالمي جرى تشكيله ليحدد المعايير للبائعين العديدين لشبكة الاتصالات.

الفقد الذاتي (Intrinsic Losses): الفَقْد الناتج من عدم تطابق مقاييس كابل الليف البصري عند توصيل كابلين غير متماثلين.

الفاصل (Isolator): وهو مُركب ذو منفذين ذَوَي توهين عند طرف واحد أكبر من التوهين عند الطرف الآخر. ويستخدم عادةً لمنع الانعكاسات المتجهة عكس مسار البث.

الغلاف (Jacket): وهو عبارة عن طبقة من مادة تحيط بالليف

البصري، غير أنها لا تلتصق به. وهي جزء من الكابل وليست جزءاً من الليف.

كابل العبور (Jumper Cable):

1 ـ كابل ليف بصري مفرد مع موصّلات عند كلا طرفي الكابل.

2 ـ كابل ليف بصري مفرد قصير، مع موصّلات عند كلا طرفي الكابل. ويستخدم للوصل بين الكابلات الأخرى أو للفحص.

ليزر الربط (Junction Laser): وهو صمام ثنائي ليزري شبه موصل.

كيفلار (Kevlar): مادة صناعية قوية تستخدم عادة كعنصر تقوية وكغلاف لكابلات الليف البصري. والاسم هو علامة تجارية لشركة دوبونت (Du Pont).

الليف ذو اللب الكبير (Large Core Fiber): وهو سلك ليف بصري بلب يبلغ قطره 200 ملم أو أكثر.

جهاز الليزر (Laser Device): وهو جهاز يولِّد ضوءاً مترابطاً (Coherent Light) اصطناعياً ضمن مجال ضيق من الأطوال الموجية.

الفقد الأزاحي الجانبي (Lateral Displacement Loss): وهو فقد الطاقة ينتج بسبب الإزاحة الجانبية لليف، ويحصل ذلك بين ليفين بصريين، أو بين كابل الليف البصري وجهاز ناشط.

الضوء (Light): وهو ذلك الجزء من الطيف الكهرومغنطيسي الذي يمكن التعامل معه بواسطة التقنيات الأساسية البصرية التي تستخدم من أجل الطيف المرئي الممتد من منطقة الأشعة فوق البنفسجية القريبة (Near Ultraviolet Region) بما يقارب 0.3 ملم عبر المنطقة المرئية (Visible Region) وداخل المنطقة الوسطى للأشعة تحت الحمراء (Mid-Infrared) بما يقارب 30 ملم.

الصمام الثنائي الباعث للضوء (Light Emitting Diode - LED):

وهو عبارة عن صمام ثنائي شبه موصل يبعث الضوء تلقائياً من الوصلة السالبة الموجبة (PN-Junction) عندما يمر فيها تيار الانحياز الأمامي (Forward Current).

المصدر الضوئي (Light Source): وهو عادة الصمام الثنائي الباعث للضوء أو ليزر مضمن وموصول في الليف البصري.

دليل الضوء (Light Guide): وهو كابل الليف البصري أو حزمة ألياف.

الموجات الضوئية (Light Waves): وهي؛

1- الموجات الكهرومغنطيسية في منطقة الترددات البصرية.

2- تقنية الاتصال البصري، وتشمل الألياف البصرية.

الرابط أو الوصلة (Link): وهو كابل الليف البصري المقرن مع موصّل (Connector)، وهو كابل موصول بالمرسل (المصدر) والمستقبل (الكاشف).

الشبكة المحلية (Local Area Network - LAN): وهي شبكة تبادل معلومات بيانية تخدم منطقة محددة، مثل بناية أو مصنع.

الحلقة المحلية (Local Loop): وهي رابط يصل المُشترك بشبكة الهاتف.

شبكة الإرسال بعيد المدى (Long-Haul Network): وهي الشبكة التي تنقل المعلومات بين المدن والقرى التي تفصل بينها مسافات طويلة.

الطول الموجي الطويل (Long Wavelength): وهو مصطلح يستخدم عادةً للضوء الذي يُساوي طول موجته 1300 أو 1550 نانومتر.

الأنبوب الرخو (Loose Tube): وهو أنبوب واقٍ يحيط بكابل الليف البصري بشكل رخو في الفراغ داخل الأنبوب نفسه. ويُملأ هذا الفراغ عادة بمادة جلاتينية عازلة للماء.

الفقد (Loss): وهو توهين الإشارة البصرية ويقاس عادة بالدسيبل.

ميزانية الفَقْد (Loss Budget): وهو حساب يُظهر الفَقْد الكلي في وصلة الليف البصري مقارنة بأقل قدرة تلقاها جهاز الاستقبال والقدرة المتوافرة من جهاز الإرسال.

الالتواء الكبير (Macrobend): وهو إلتواء كبير في الليف يمكن رؤيته بالعين المجردة.

اللّيّ الكبير (Macrobending): وهو انحراف محوري مرئي لكابل الليف البصري عن الخط المستقيم.

الهامش (Margin): وهو عبارة عن كمية الفَقْد الإضافي المسموح بها في الرابط.

تشتت المادة (Material Dispersion): وهو اتساع الذبذبة الناتج من الأطوال الموجية المختلفة للضوء المنتقلة بسرعات مختلفة داخل كابل الليف البصري.

استطارة المادة (Material Scattering): وهي جزءٌ من الاستطارة الكلية المنسوبة إلى خواص المواد المستخدمة في صناعة دليل الموجة.

الوصل الميكانيكي (Mechanical Splice): هو وصل شبه دائم بين ليفين باستعمال جهاز رصف، أو وسائل لمطابقة معامل الليف، أو غراء لاصق.

الفقد بالالتواء الميكروي (Microbend Loss): وهو الفَقْد الناتج من الانحناءات الميكروية في كابل الليف البصري.

الالتواء الميكروي (Microbending): وهو تقوّس كابل الليف البصري. ويتضمن الإزاحات المحورية التي تصل إلى بضع مايكرومترات وأطوال موجية مكانية من بضع ملمترات.

فقد الرصف الخطأ (Misalignment Loss): وهو فقد القدرة

الناتج من سوء الرصف الزاوي، والإزاحة الجانبية، والمسافة الفاصلة بين أطراف الألياف.

السعة الموجية الشكلية (Modal Bandwidth): وهي آلية تحد من السعة الموجية في كابلات الألياف البصرية متعددة الأنماط.

التشتت الشكلي (Modal Dispersion): ينتج بسبب الفرق في الزمن الذي تستغرقه الأنماط المختلفة في عملية الانتقال عبر الليف البصري متعدد الأنماط.

الضوضاء الشكلية (Modal Noise): وهي تقلبات القدرة البصرية الناتجة من تفاعل الطاقة المنتقلة في أكثر من نمط واحد.

النمط (Mode): وهو مجال كهرومغنطيسي مفرد، ينتقل في الليف.

إقران النمط (Mode Coupling): وهو انتقال الطاقة بين الأنماط.

قُطر نمط المجال (Mode Field Diameter): قُطر نمط واحد من الضوء الذي ينتقل في ليف مفرد النمط.

مزيل النمط (Mode Stripper): وهو جهاز يزيل الأنماط ذات الترتيب العالي في الليف متعدد النمط لتصبح مطابقة لمعايير القياس.

التضمين (Modulation): وهي العملية التي يجري فيها تعديل خاصية موجة واحدة (الناقل) بواسطة موجة أخرى (إشارة المعلومات).

كابل ليف بصري متعدد الأنماط (Multimode Fiber Optic Cable): وهو نوع من أنواع الليف البصري يسمح لأكثر من نمط بث واحد بالانتقال خلاله.

المضاعفة (Multiplexing): دمج عدة قنوات بيانات مع بعضها بحيث يمكن نقل الإشارة المركبة بواسطة رابط واحد لتبادل المعلومات.

نانومتر (Nanometer): وهي وحدة قياس تساوي 10^{-9} متر، وتُستخدم لقياس الطول الموجي للضوء.

الشبكة (Network): وهي عبارة عن منظومة كابلات وعدد من المعدات والأدوات التي تستخدم في وسائل الاتصال.

الفتحة العددية (Numerical Aperture): وهي مخروط وهمي يحدد مساحة قبول اللب للأشعة الضوئية الداخلة إلى الليف البصري.

المضخم البصري (Optical Amplifier): وهو جهاز يضخم الضوء من دون تحويله إلى إشارة كهربائية.

الكابل البصري (Optical Cable): وهي مجموعة من الألياف البصرية بالإضافة إلى مواد أخرى تعطي حماية ميكانيكية وبيئية.

الليف البصري (Optical Fiber): وهو المرادف لكابل الليف البصري.

مقرن الليف البصري (Optical Fiber Coupler): وهو جهاز يقرن طاقة كابل الليف البصري مع المصدر الضوئي أو الكاشف (detector).

الرابط البصري (Optical Link): وهي أي قناة انتقال بصرية مصمّمة لربط أطراف الكابل البصري.

المُبدل البصري (Optical Switch): هو الجهاز الذي يوجه الإشارة البصرية من قابس دخل واحد أو أكثر إلى قابس خرج واحد أو اكثر للإشارة.

مقياس انعكاسية المجال الزمني البصري (Optical Time Domain Reflectometer - OTDR): هو أداة تقيس خاصية الإرسال في الليف البصري. وتجري العملية هذه من خلال إرسال نبضات قصيرة وقياس الإشارة العائدة الناتجة من هذه النبضات التي سبّبها التبعثر الخلفي والانعكاس.

مقياس الانعكاس لمجال الزمن البصري (Optical Time Domain

(Reflectometry): وهي طريقة لتقويم كابلات الألياف البصرية تعتمد على استطارة الضوء الخلفية في عملية التقويم هذه (المنعكس).

دليل الموجة البصري (Optical Waveguide):

1 ـ هو مرادف لكابل الليف البصري.

2 ـ أي بنيان قادر على توجيه الضوء من خلال مسار مسبق التحديد.

النافذة البصرية (Optical Window): وهي مدى الطول الموجي لكابل الليف البصري قليل التوهين. ويعمل الليف البصري الرابط لنقل البيانات باستخدامه الصمامات الثنائية الباعثة للضوء كمصدر ضوئي ضمن نطاق النافذة الأولى (أي 850 نانومتر) أو في نطاق النافذه الثانية (أي 1300 نانومتر). وأما الليف البصري الذي يستخدم المصادر الليزرية فإنه يعمل ضمن نطاق النافذة الثانية (أي 1310 نانومتر)، أو ضمن نطاق النافذة الثالثة (أي 1550 نانومتر).

المحول الكهربائي البصري (Optoelectrical Converter): يقوم بتحويل الإشارة البصرية إلى إشارة كهربائية.

البصريات الإلكترونية (Optoelectronics): وهي مجموعة من المواد والأجهزة التي تولد الضوء (الليزرات أو الأجهزة الباعثة للضوء)، وتضخم الضوء (المضخمات الضوئية)، وتستشعره (الصمامات الثنائية الضوئية) وتتحكم به (الدوائر الكهروبصرية).

المقرن السلبي (Passive Coupler): وهو المقرن الذي يقسم الضوء الداخل على منافذ المخرج الناتج من دون إضافة أي قدرة ضوئية (Light Power).

المقرن النجمي السلبي (Passive Star Coupler): يستخدم هذا المقرن مكونات غير فعالة لقرن إشارة أو أكثر من الإشارات البصرية الداخلة والقادمة من كابلات الألياف البصرية بكابل أو أكثر من كابلات الليف البصرية العاملة عمل المستقبلات.

لوحة الربط (Patch Panel): وهي لوحة توزيع تعيد ترتيب الوصلات الليفية البصرية والدارات الكهربائية.

سلك الربط (Patch Cord): هو ليف بصري أو سلك ذات موصّلات بصرية (Optical Connectors) عند طرفيه.

الطول الموجي الذروي (Peak Wavelength): هو الطول الموجي الذي تكون فيه طاقة المصدر البصرية في ذروتها.

التضمين الطوري (Phase Modulation): وهي عملية تضمين الزاوية الطورية (Phase Angle) للإشارة نسبة إلى إشارة الدخل (Input Signal).

التيار البصري (Photocurrent): هو التيار الكهربائي الذي يمر عبر كاشف حساس للضوء، مثل الصمام الثنائي الضوئي، كنتيجة لتعرضه إلى طاقة إشعاعية.

الكاشف البصري (Photodetector): هو ناقل طاقة إلكتروبصري، مثل الصمام الثلاثي (PIN photodiode) أو الصمام الثنائي لتيهور الجسيمات الذي يحول الضوء الداخل إلى إشارة كهربائية.

الصمام الثنائي الضوئي (Photodiode): هو شبه موصل يحول الضوء إلى إشارة كهربائية تستخدم في مستقبلات الليف البصري.

الفوتون (Photon): هي طاقة كَمْ الكهرومغنطيسية (Quantum of electromagnetic energy).

البصريات (Photonics): هي تكنولوجيا لبث المعلومات باستخدام الضوء.

سلك التوصيل (Pigtail): هو سلك ليفي بصري قصير مثبت بصورة دائمة على مُركب يُستخدم لإقران الطاقة بين المركب والسلك المستخدم للبث.

الصمام الثلاثي (PIN Photodiode): هو كاشف ضوئي خطي

سريع يُستخدم بصورة واسعة في مستقبلات الليف البصري.

دليل موجة مستوي (Planar Waveguide): هو ليف متعدد الأنماط بمعامل انكسار لب مصنوع من السليكا محاطاً بتصفيح بلاستيكي ذي معامل انعكاس منخفض.

كابل ليف بصري من السليكا ذو تصفيح بلاستيكي (Plastic-Clad Silica Fiber Optic Cable): هو كابل ليف بصري ذو لب زجاجي وتصفيح بلاستيكي.

كابل ليف بصري بلاستيكي (Plastic Fiber Optic Cable): هو كابل ليف بصري ذو لب وتصفيح بلاستيكيَين.

ليف السليكا المصفح بالبلاستيك (Plastic-Clad Silica (PCS) Fiber): هو الليف المصنوع من لب زجاجي وتصفيح من البلاستيك.

الحيز (Plenum): هو الفراغ الهوائي الموجود في الجدران، والهياكل التحتية للطوابق، وفوق السقوف الهابطة التي يمكن أن تستخدم لتمرير الكابلات ضمن البنايات.

السلك الحيزي (Plenum Cable): هو سلك الليف البصري الذي تسمح له خاصيته المضادة للهب والدخان بأن يُمرر في حيز قنوات التمديد من دون الحاجة إلى التغليف.

نقطة إلى نقطة (Point-to-Point): هو رابط ثابت مؤمن بين جهازين أو محطتين متباعدين في الشبكة.

استقرارية الاستقطاب (Polarization Stability): تغير في كمية فقد الإدخال الناتج الذي يظهرعند حصول تغيير في حالة الاستقطاب للضوء الداخل.

مستقطب (Polarized): هو الضوء الذي يكون فيه المسار الكهربائي للمجال الكهرومغنطيسي موجهاً بدلاً من أن يكون عشوائياً.

الصقل (Polishing): هو تهيئة طرف سلك الليف البصري من خلال وضع الطرف على مادة كاشطة.

ميزانية الطاقة (Power Budget): هو الفرق (ويقاس بالدسيبل) بين القدرة البصرية المرسلة (وتقاس بنسبة الطاقة إلى الدسيبل dBm) وحساسية المستقبل (وتقاس بنسبة الطاقة إلى الدسيبل dBm).

مقياس القدرة (Power Meter): هو جهاز يستخدم لقياس التوهين في كابل الليف البصري البلاستيكي.

القالب (Preform): هو قضيب صلب من مادة البلاستيك يصنّع الليف البصري البلاستيكي منه، أو الهيكل الزجاجي الذي يصنع سلك الليف البصري الزجاجي منه.

الصهر السابق للوصل (Prefusing): هو عملية الصهر باستعمال تيار منخفض لتنظيف أطراف سلك الليف البصري. وتجري هذه العملية قبل عملية الوصل بالانصهار.

الطلاء الأولي (Prefusing): هو الطلاء البلاستيكي الذي يوضع مباشرةً على سطح تصفيح سلك الليف البصري أثناء التصنيع وذلك للحفاظ على سلامة بنية الكابل.

تضمين الشيفرة بالنبض (Pulse Coded Modulation - PCM): هي تقنية تحول الإشارة التناظرية من خلالها إلى إشارة رقمية.

تشتت النبضة (Pulse Dispersion): استطالة الموجة أثناء انتقالها على طول الليف البصري.

انتشار النبضة (Pulse Spreading): تشتت الإشارة البصرية مع مرور الوقت أثناء انتقالها في كابل الليف البصري.

الفعالية الكمية (Quantum Efficiency): هي نسبة الفوتونات التي جرى استقبالها، التي تولد التيار الخارج في الصمام الثنائي الضوئي.

الرباعية (Quaternary): أي مصنوع من أربعة عناصر مختلفة.

الإشعاعية (Radiance): هي القدرة البصرية لكل وحدة قياس زاوي حادة في كل وحدة قياس مساحة مصدر.

النمط الإشعاعي (Radiance Pattern): توزيع التدفق الزاوي والمشع خارج الليف.

مبدأ رايليه لاستطارة الضوء (Rayleigh Scattering): استطارة الضوء الناتجة من عدم تجانس كثافة المادة أو تركيبتها، ما يتسبب بفقد في القدرة البصرية التي تتغير مع الأس الرابع للطول الموجي (Fourth Power of the Wavelength).

المستقبل (Receiver): هو الجهاز الذي يكتشف الإشارة الضوئية ويحولها إلى طاقة كهربائية.

الانعكاسية (Reflectance): هي ظاهرة انعكاس الضوء باتجاه معاكس لمسار انتقاله إما في منطقة القرن أو عند الموصّل أو طرف سلك الليف البصري.

الانعكاس (Reflection): هو التغيير المفاجئ في اتجاه الضوء أثناء انتقاله بين مادتين مختلفتين.

الانكسار (Refraction): هو انحناء الضوء أثناء عبوره بين مادتين ذواتي معاملي انكسار مختلفين.

معامل الانكسار (Refractive Index): نسبوية سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعته في المادة.

مكرر إعادة التوليد (Regenerative Repeater): هو جهاز مُكرر مصَمم للبث الرقمي يضخم ويعيد شكل الإشارة من جديد. ويسمى عادة جهاز إعادة توليد الإشارة (Regenerator).

معيد التوليد (Regenerator): هو جهاز مستقبل/ مرسل في الوقت نفسه يكتشف الإشارة البصرية الضعيفة، ينظفها ويضخمها، ومن ثم يرسل الإشارة المعاد توليدها (Regenerated Signal) عبر كابل ليفي طويل المسافة.

المكرر (Repeater): هو جهاز إعادة توليد إشارة واحدة أو أكثر.

الكابل المتعدد الأسلاك (Ribbon Cable): هو كابل فيه كثير من الألياف البصرية المتوازية مُغلف بغشاء بلاستيكي بحيث يصبح شكله يشبه الشريط. وقد يتضمن الكابلات الكهربائية في بعض الأحيان.

الشبكة الحلقية (Ring Network): هي نوع من أنواع التركيب البنيوي للشبكة تربط فيها الأطراف بنموذج تسلسلي من نقطة إلى نقطة على شكل دائرة كاملة.

زمن النهوض (Rise Time): هو الزمن الذي تحتاج إليه حافة الذبذبة للنهوض من 10 في المئة إلى 90 في المئة من سعتها.

الفتحة العمودية (Riser): هو تطبيق للكابلات المستخدمة داخل المبنى يقع بين الطوابق، مثل أنابيب عمودية، أو في فراغ في الحائط عادة.

الاستطارة (Scattering): هي تغيير مسار الضوء بعد ارتطام الجزيئات الضوئية الصغيرة بعائق، ما يتسبب بالفقد في الألياف البصرية.

فقد الاستطارة (Scattering Losses): هو الفَقْد في الألياف البصرية الناتج من مادة الليف أو العيوب الموجودة في الليف.

الليزر شبه الموصل (Semiconductor Laser): هو شبيه بالصمام الثنائي الليزري.

الحساسية (Sensitivity): هي أقل قدرة بصرية مطلوبة لتحقيق مستوى معين من الأداء.

البث المتسلسل (Serial Transmission): هي طريقة بث تستخدم لإرسال كل بت من المعلومات بتسلسل في قناة واحدة.

الغلاف (Sheath): هي الطبقة الواقية الخارجية المحيطة بكابل الليف البصري.

الطول الموجي القصير (Short Wavelength): هو مصطلح شائع

الاستخدام للضوء الذي يُساوي طول موجته 665، و790، و850 نانومتر.

الضوضاء الطلقية (Shot Noise): هي الضوضاء الناتجة من تقلبات التيار التي تنتج من الطبيعة المتحفظة للإلكترونات.

نسبة الإشارة إلى الضوضاء (Signal-to-Noise Ratio - SNR): هي قدرة الإشارة بالنسبة إلى ضوضاء القدرة، وتقاس بالدسيبل.

زجاج السليكا (Silica Glass): هو الزجاج المصنوع من ثاني أكسيد السليكون يستخدم في الألياف البصرية.

بسيط (Simplex): هو الانتقال في اتجاه واحد فقط.

السلك البسيط (Simplex Cable): هو مصطلح يستخدم أحياناً لسلك ليف واحد.

البث البسيط (Simplex Transmission): قناة تبادل المعلومات تبث باتجاه واحد فقط.

مفرد النمط (Single Mode): هو سلك الليف البصري ذو لب صغير الحجم يسمح ببث نمط واحد فقط لضوء يعمل فوق النطاق الذي تبدأ فيه طول الموجة بالانخفاض.

الليف مفرد النمط (Single-Mode Fiber): هو ليف ذو لب صغير يسمح بانتقال نمط واحد فقط عندما يتم بث طول موجة الضوء فيها.

موجة وحيدة (Solitron): هي ذبذبة ضوئية تحافظ على شكلها عند عبورها مسافة معيّنة.

المصدر (Source): يكون إما صماماً ثنائياً ليزرياً أو صماماً ثنائياً باعثاً للضوء، ويستخدم لحقن إشارة بصرية داخل الليف.

التوهين الطيفي (Spectral Attenuation): هو قياس التوهين بالاعتماد على الطول الموجي.

السعة الطيفية (Spectral Bandwidth): هي الفترة الزمنية التي

تكون فيها كمية الطيف المشع أكثر من نصف أقصى قيمة الطيف نفسه في الطول الموجي.

العرض الطيفي (Spectral Width): هو قياس امتداد الطول الموجي للطيف.

سرعة الضوء (Speed of Light): تصل إلى 108 × 2,998 متر في الثانية الواحدة (في الفراغ) تقريباً.

الوصلة (Splice): هي طريقة داخلية تصل بين طرفي كابلين بصريين دائمة أو شبه دائمة.

صندوق الوصلة (Splice Box): حاوية لمنظومة وصل واحدة أو أكثر.

علبة احتواء الوصلة (Splice Closure): هو الوعاء المستخدم لتنظيم وحماية نقطة الوصل.

التوصيل (Splicing): التوصيل الدائم لطرف سلك ليف بصري بليف بصري مشابه أو من نوع آخر.

المقرن النجمي (Star Coupler): هو مقرن الليف البصري تتوزع فيه القدرة من أي نقطة دخول على نقاط الخروج.

الشبكة النجمية (Star Network): هي الشبكة التي تُربط فيها كل الأطراف عند نقطة واحدة مثل المقرن النجمي.

المحطة (Station): هي وحدة معنونة (Addressable unit) على الشبكة، تمثل جهازاً أو أكثر لاستقبال أو إرسال البيانات.

الحالة المستقرة (Steady State): التوزيع المتوازن للنمط.

ليف بمعامل انكسار دَرَجي (Step Index Fiber): هو سلك ليف بصري مفرد أو متعدد الأنماط يكون فيه اللب منتظماً عبر الليف كله، ولديه كذلك معاملٌ حاد في على سطح اللب/ التصفيح.

معامل الانكسار الدرجي (Step Index Profile): هو معامل

الانكسار الذي يتغير بصورة مفاجئة من القيمة س$_1$ إلى س$_2$ عند سطح اللب/ التصفيح.

عنصر الإجهاد (Strain Member): هو جزء من سلك الليف البصري الذي يضمن عدم حصول إجهاد على الألياف. وتشمل المواد المستخدمة لصنع عنصر الإجهاد الفولاذ والصوف الصناعي.

عنصر التقوية (Strength Member): هو جزء من كابل الليف البصري. ويتألف من صوف الكيفلار الأراميدي (kevlar aramid yarns)، وكابلات فولاذية مجدولة، أو شعيرات تزيد من قدرة الليف على مقاومة الشد.

التجريد أو التعرية (Stripping): إزالة الطلاء الواقي عن سلك الليف البصري.

حلقة المشترك (Subscriber Loop): هو الرابط الذي يصل المشتركين في الشبكة.

الصمام الثنائي الباعث للضوء من السطح (Surface Emitting Light Emitter Diode): هو صمام ثنائي يبعث الضوء من سطح الصمام نفسه، وليس من الحافة.

البث التزامني (Synchronous Transmission): هي طريقة بث يتم التحكم بها بتزامنية الرموز بواسطة التوقيت، أو من خلال الإشارة المتذبذبة بين الحالة العليا والدنيا بانتظام. وتعمل المرسلات والمستقبلات باستمرار وبالتردد نفسه أيضاً.

فَقْد المأخذ (Tap Loss): هي نسبة القدرة عند قابس المأخذ إلى كمية القدرة عند قابس الإدخال.

فوهة المأخذ (Tap Port): هي النسبة الفاصلة بين مآخذ الإخراج غير المتساوية؛ وهي كذلك نقطة مآخذ الإخراج التي تحتوي على طاقة أقل.

مُقْرن تي أو مقرن ذو مرفق (Tee Coupler): مقرن ذو ثلاثة مآخذ.

الاتصالات السلكية واللاسلكية (Telecommunications): تبادل المعلومات عبر المسافات البعيدة بواسطة الموجات الراديوية، أو الإشارات البصرية، أو على طول خط البث.

الثلاثي (Ternary): المُركّب المصنوع من ثلاثة عناصر مختلفة.

عدة الفحص (Test Kit): هي مجموعة أدوات ليف بصرية تحتوي عادة على مقياس الطاقة، ومصدر ضوئي، ومعدات فحص تستعمل لقياس القدرة والفقد.

الضوضاء الحرارية (Thermal Noise): هي الضوضاء الناتجة من التقلبات العشوائية للتيار الكهربائي التي تتسبب بها الحرارة في مقاومة الحمل **(load resistance)** في جهاز الاستقبال.

الاستقرارية الحرارية (Thermal Stability): هو قياس تغيرات فقد الإدخال **(Insertion Loss)** في الوقت الذي يتعرض له الجهاز لبيئات مختلفة.

عتبة التيار/ عتبة الحركة (Threshold Current): هي أقل نسبة تيار كهربائي مطلوبة لتشغيل الليزر في الصمام الثنائي الليزري.

فقد إدخال الليف (Throughput Loss): نسبة القدرة عند نقطة المأخذ الخارج إلى القدرة عند نقطة المأخذ الداخل.

الصاد المحكم (Tight Buffer):

1 ـ هو نوع من أنواع تركيب الليف حيث يجري صد كل كابل من أسلاك الليف البصري الزجاجي بشكل محكم بواسطة غلاف من البلاستيك الحراري ذي قُطر يُساوي حوالى 900 ميكرون.

2 ـ هي مادة تحيط بكابل الليف بإحكام لتثبيته في مكانه.

مضاعفة بتقسيم الزمن (Time Division Multiplex - TDM): هي المضاعفة الرقمية التي تقوم بأخذ كل نبضة على حدة من إشارات منفصلة، ومن ثم تجمع هذه النبضات في إشارة دفق بتات واحدة.

المضاعفة بتقسيم الزمن (Time Division Multiplex - TDM): هي تقنية بث تتشارك فيها عدة قنوات منخفضة السرعة وسط البث نفسه (مثال سلك الليف البصري).

توكن (Token): هي سلسلة فريدة من نوعها من البتات تسمح للمحطة بالبث إلى شبكة توكن حلقية.

شبكة توكن الحلقية (Token Ring Network): هي الشبكة التي يمكن الولوج إليها من خلال محطة خاصة في التوكن يجري تمريرها في الشبكة ضمن سلسلة مسبقة التحديد.

السعة الموجية الكلية (Total Bandwidth): هي السعة الموجية المتحدة بالشكل واللون.

الانعكاس الداخلي الكلي (Total Internal Reflection): هو حصر الضوء في لب الليف من خلال الانعكاس عند سطح اللب/ التصفيح، ومن ثم نحو القلب من جديد.

جهاز مرسل مستقبل (Transceiver): هو جهاز يدمج بين المرسل والمستقبل، ويتضمن نوعين من المآخذ هما مأخذ الاستقبال ومأخذ الإرسال.

ناقل طاقة (Transducer): هو جهاز لتحويل الطاقة من شكل إلى آخر، مثل تحويل الطاقة البصرية إلى طاقة كهربائية.

فقد الإرسال (Transmission Loss): هو الفَقْد الكلي الذي تتعرض له الإشارة عند الانتقال عبر المنظومة.

وسيط الإرسال (Transmission Media): هو الوسيط الفيزيائي المستخدم لنقل إشارات عبره، مثل الليف البصري، والكابل متحد المحور، والسلك المزدوج الملتوي **(Twisted pair Cable)**.

المرسل (Transmitter):

1 ـ هو عبارة عن جهاز يحول الإشارة الكهربائية إلى إشارة بصرية.

2 ـ هو جهاز يتضمن مصدر ضوئي كالصمام الثنائي الباعث للضوء أو الليزر، وإلكترونيات لتكييف الإشارة. ويُستعمل هذا الجهاز كذلك لبث الإشارة في الليف.

الشفافية (Transparency): هي منظومة اتصال شفافة لا تفرض أي قيود على نمط الشيفرة أو نمط البتات في المعلومات التي يجري إرسالها.

المُقرن الشجري أو المُقْرن ذات المحور المتفرع (Tree Coupler): هو المقرن الذي يوزع الإشارات البصرية على العديد من مآخذ الإخراج.

الأشعة فوق البنفسجية (Ultraviolet): هي موجات كهرومغنطيسية تتراوح أطوال موجتها بين 100 و400 نانومتر.

التجانس (Uniformity): هي الكمية القصوى لفقد الإدخال (Insertion Loss) بين مآخذ المقرن.

مكالمة هاتفية فيديوية (Videophone): هي خدمة من خدمات التخابر تسمح ببث الصور والصوت في الوقت نفسه.

الواقع الافتراضي (Virtual Reality): هو تكنولوجيا تتيح إنشاء بيئة مشابهة للحقيقة بواسطة الحاسوب (وذلك بواسطة شاشة الحاسوب أو السماعات المجسمة للصوت أو النظارات).

الضوء المرئي (Visible Light): هو الإشعاع الكهرومغنطيسي الذي يمكن رؤيته بالعين المجردة، وتتراوح أطواله الموجية بين 400 و700 نانومتر.

دليل الموجة (Waveguide): هي عبارة عن مادة ذات بعدين تتضمن قنوات تسمح بانتقال الضوء.

الطول الموجي (Wavelength): أي المسافة التي تسافرها الموجة الكهرومغنطيسية ضمن الوقت الذي تحتاجه لتتذبذب عبر دورة كاملة.

الاعتمادية على طول الموجة (Wavelength dependence): التغيرات التي تحدث في المقاييس البصرية الناتجة من التغيرات الحاصلة في طول الموجة العاملة.

مضاعف بتقسيم طول الموجة (Wavelength Division Multiplexing - WDM): جهاز ليف بصري سلبي يُستخدم لفصل الإشارات البصرية ذات أطوال موجية مختلفة منقولة في كابل ليف بصري واحد.

مضاعف بتقسيم طول الموجة (Wavelength Division Multiplexing - WDM): البث المتزامن لإشارات بصرية متعددة ذات أطوال موجية مختلفة في سلك الليف البصري نفسه.

شبكة المساحة الواسعة (Wide Area Network - WAN): شبكة تبادل معلومات تغطي مساحات كبيرة تستخدم عادة بعضاً من أدوات الشبكة العامة.

هامش المعالجة (Working Margin): هو الفرق بين موازنة القدرة (Power budget) وموازنة الفَقْد (Loss budget) (أي هامش القدرة الفائضة) وتقاس بالدسيبل.

ثبت المصطلحات

عربي - إنجليزي

أحادي اللون	Monochromatic
أداة تعرية	Stripping Tool
أرقام ثنائية (1 و0)	Binary Digits
أساسي	Primer
استجابة	Responsiveness
استزراع، زرع	Implantation
استطار رايلية	Rayleigh Scattering
استطارة ميي	Mie Scattering
استقطاب	Polarization
أشباه الموصلات	Semiconductors
اصطفاف	Alignment
إعادة اتحاد	Recombination
إنبعاث	Emission
انتركوم، اتصال داخلي	Intercom
إنتشار	Propagation
إنجاز أمامي	Forward Biasing
إنعكاس	Reflection
انكسار	Refraction
الايثرنت	Ethernet
تألق	Luminescence

Groove	تجويف، أخدود
Tolerance	تحمل
Doppler Blur - Shift	تحول - الأزرق الدوبلري تأثير دوبلر الأزرق
Inductive Interference	تداخل مستحث
Cross Linking	ترابط تصالبي
Transistor	ترانزيستور
Frequency	تردد
Epitaxial	ترسب بلوري تقيلي
Deposition	ترسيب
Interface	تركيب بيني
Dispersion	تشقق
Microscopic Imperfection	تشوهات مجهرية
Cladding	تصفيح
Equalization	تعادل
Crimping	تغضين، تضييق
Analog	تماثلي
Contact	تماس
Doping	تنشيط، تأشيب، تذميم
Expansion	توسع، تمدد
Drive Current	تيار سوق
Sinusoidal	جيبي (مثلثات)
Deflecting	حارف
Carriers	حاملات
Thermal	حراري
Confinement	حصر
Intrinsic	حقيقي، جوهري
Output	خرج
Linear	خطي
Mixer	خلاط
Diod Laser Phic	دايود لايزري ضعيف
Input	دخل
Optical Fiber Waveguide	دليل موجة ليف بصري
Periodic Peaks	ذروات دورية
Resin	راتينج

Digitalization	رقمنة
Substrate	ركيزة، مادة أساس
Links	روابط
Critical Angle	زاوية حرجة
Incident	ساقط
P-Surface	سطح - موجي
Capacitance	سعة
Lattice	شبكة بلورية
Modal	شكلي
Mandrel	شياق، نياط
Buffer	صاد، حاجز، دارئ
Light Emitting Divole	صمام ثنائي باعث للضوء
Avalanche Photodiode	صمام ثنائي ضوئي تهوري
Fusion	صهر، إنصهار
Noise	ضوضاء
Wavelength	طول موجي
Spectral	طيفي
Release Step	عتبة التفريغ
Lens	عدسة
Insulation	عزل
Crimping	عقص
Aperture	فتحة
Breakdown Voltage	فولتية انهيار
Noise Equivalent Power	قدرة الضوضاء المكافئة
Electrode	الكترود، قطب كهربائي
Power Density	كثافة القدرة
Gain	كسب
Detector	كشاف
Quantum Efficiency	كفاءة ألكم
Lithographic	ليثوغرافي
Laser	ليزر (ليزرات)
Evanescent	متلاشي
Optical Domain	مجال ضوئي
Coaxial	محّد المحور

Optical Switch	محول أو مبدل بصري
Oscillator	مذبذب
Transmitter	مرسل، بات
Elastomeric	مرن
Short Haul	مسافة قصيرة
Transverse	مستعرض
Axial Route	مسلك محوري
Shutter	مصراع
Multiplexer	مضاعف
Frequency Division Multiplexing	مضاعفة بتقسيم التردد
Time Division Multiplexing	مضاعفة بتقسيم الزمن
Modular	مُضَمِّن
Impedance	معاوقة
Calibration	معايرة
Bit Rate	معدل البت
Metallization	معدنة
Regenerator	معيد التوليد
Resistance	مقاومة
Coupler	مقرن
Beam Splitter	مقسم الشعاع
Repeater	مُكرر
Depletion Region	منطقة نضوب
Prismatic Binocular	منظار موشوري
Adaptor	مهايئ
Eigenwaves	موجات تناسبية
Cut - Off Wave	موجة الانقطاع
Microwave	موجة ميكروية
Phase Conductor	موصل طوري
Attenuator	مُوهِن
Junction Points	نقاط وصل
Single Mode	نمط مفرد
Heliograph	هيلوغراف
Splicing	وَصِل، جَدِل

ثبت المصطلحات

إنجليزي - عربي

Avalanche Photodiode	صمام ثنائي ضوئي تهوري
Adaptor	مهائي
Alignment	اصطفاف
Analog	تماثلي
Aperture	فتحة
Attenuator	مُوهِن
Axial Route	مسلك محوري
Beam Splitter	مقسم الشعاع
Binary Digits	أرقام ثنائية (1 و0)
Bit Rate	معدل البت
Breakdown Voltage	فولتية انهيار
Buffer	صاد، حاجز، دارئ
Calibration	معايرة
Capacitance	سعة
Carriers	حاملات
Cladding	تصفيح
Coaxial	محّد المحور
Confinement	حصر
Contact	تماس
Coupler	مقرن

Crimping	تغضين، تضييق
Crimping	عقص
Critical Angle	زاوية حرجة
Cross Linking	ترابط تصالبي
Cut - Off Wave	موجة الانقطاع
Deflecting	حارف
Depletion Region	منطقة نضوب
Deposition	ترسيب
Detector	كشاف
Digitalization	رقمنة
Diod Laser Phic	دايود لايزري ضعيف
Dispersion	تشقق
Doping	تنشيط، تأشيب، تذميم
Doppler Blur - Shift	تحول - الأزرق الدوبلري تأثير دوبلر الأزرق
Drive Current	تيار سوق
Eigenwaves	موجات تناسبية
Elastomeric	مرن
Electrode	الكترود، قطب كهربائي
Emission	إنبعاث
Epitaxial	ترسب بلوري تقيلي
Equalization	تعادل
Ethernet	الايثرنت
Evanescent	متلاشي
Expansion	توسع، تمدد
Forward Biasing	إنجاز أمامي
Frequency	تردد
Frequency Division Multiplexing	مضاعفة بتقسيم التردد
Fusion	صهر، إنصهار
Gain	كسب
Groove	تجويف، أخدود
Heliograph	هيلوغراف
Impedance	معاوقة
Implantation	استزراع، زرع
Incident	ساقط

Inductive Interference	تداخل مستحث
Input	دخل
Insulation	عزل
Intercom	انتركوم، اتصال داخلي
Interface	تركيب بيني
Intrinsic	حقيقي، جوهري
Junction Points	نقاط وصل
Laser	ليزر (ليزرات)
Lattice	شبكة بلورية
Lens	عدسة
Light Emitting Divole	صمام ثنائي باعث للضوء
Linear	خطي
Links	روابط
Lithographic	ليثوغرافي
Luminescence	تألق
Mandrel	شياق، نياط
Metallization	معدنة
Microscopic Imperfection	تشوهات مجهرية
Microwave	موجة ميكروية
Mie Scattering	استطارة ميي
Mixer	خلاط
Modal	شكلي
Modular	مُضَمِّن
Monochromatic	أحادي اللون
Multiplexer	مضاعف
Noise	ضوضاء
Noise Equivalent Power	قدرة الضوضاء المكافئة
Optical Domain	مجال ضوئي
Optical Fiber Waveguide	دليل موجة ليف بصري
Optical Switch	محول أو مبدل بصري
Oscillator	مذبذب
Output	خرج
Periodic Peaks	ذروات دورية
Phase Conductor	موصل طوري

Polarization	استقطاب
Power Density	كثافة القدرة
Primer	أساسي
Prismatic Binocular	منظار موشوري
Propagation	إنتشار
P-Surface	سطح - موجي
Quantum Efficiency	كفاءة ألكم
Rayleigh Scattering	استطار رايلية
Recombination	إعادة اتحاد
Reflection	إنعكاس
Refraction	انكسار
Regenerator	معيد التوليد
Release Step	عتبة التفريغ
Repeater	مُكرر
Resin	راتينج
Resistance	مقاومة
Responsiveness	استجابة
Semiconductors	أشباه الموصلات
Short Haul	مسافة قصيرة
Shutter	مصراع
Single Mode	نمط مفرد
Sinusoidal	جيبي (مثلثات)
Spectral	طيفي
Splicing	وَصِل، جَدِل
Stripping Tool	أداة تعرية
Substrate	ركيزة، مادة أساس
Thermal	حراري
Time Division Multiplexing	مضاعفة بتقسيم الزمن
Tolerance	تحمل
Transistor	ترانزيستور
Transmitter	مرسل، بات
Transverse	مستعرض
Wavelength	طول موجي

الفهرس

ـ أ ـ

ـ ب ـ

ـ ت ـ

ـ ج ـ

ـ ح ـ

ـ خ ـ

ـ د ـ

ـ ذ ـ

ـ ر ـ

ـ ز ـ

ـ ط ـ

ـ ع ـ

ـ ف ـ

ـ ق ـ

ـ ك ـ

ـ ل ـ

ـ ن ـ

ـ هـ ـ

ـ و ـ

الإلكترونيات البصرية
وتكنولوجيا الألياف البصرية(*)

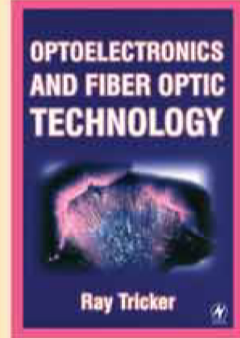
السلسلة: تضم هذه السلسلة ترجمة لأحدث الكتب عن التقنيات التي يحتاج إليها الوطن العربي في البحث والتطوير ونقل المعرفة إلى القارئ العربي.

الكتاب: تتركّز أبحاث هذا الكتاب على تكنولوجيا الألياف والإلكترونيات البصرية التي تعدّ ميداناً مهماً في حقل الاتصالات الحديثة، وفي حياتنا العلمية والعمليّة بصورةٍ عامة. وهو إذ يتميّز بالدقة والشمولية فإنه في الوقت نفسه يقدّم المعلومات بأسلوب مرن يُلبّي حاجات الدارسين الجدد، والباحثين المتمرسين، وصنّاع القرار في المؤسسات المختصة بمجال الاتصالات.

وبناءً على ما تقدّم يُعتبر هذا الكتاب مرشداً دقيقاً لذوي الاهتمام، ولاسيّما أنه تضمن توصيفاً واسعاً لمختلف التقنيات المفتاحية: المرسلات، والمستقبلات، والموصلات...إلخ إضافة إلى تسليط الضوء على كيفية اختيارها وسلامة استخدامها.

المؤلف: راي تريكر: مدير إداري في شركة
Herme European Consultancy Ltd.

المترجمة: إنعام عجاج: مهندسة/ مختصة في هندسة إنتاج المعادن/ الجامعة التكنولوجية في بغداد.



(*) الكتاب الأول من الإلكترونيات والاتصالات والضوئيات

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة

1. المياه
2. البترول والغاز
3. البتروكيمياء
4. النانو
5. التقنية الحيوية
6. تقنية المعلومات
7. الإلكترونيات والاتصالات والضوئيات
8. الفضاء والطيران
9. الطاقة
10. المواد المتقدمة
11. البيئة

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST

المنظمة العربية للترجمة

الثمن: 28 دولاراً أو ما يعادلها

ISBN 978-9953-0-1997-0

9 789953 019970

الإلكترونيات البصرية وتكنولوجيا الألياف البصرية

راي تريكر

(7 - 1)